VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Данную брошуру любезно
предоставил из своей
личной библиотечкм

Олейник

Иван Михайлович,

город Киев.

Благодарю.

ШКОЛА ГРИБОВОДСТВА

СУБСТРАТЫ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ВЕШЕНКИ

ЧАСТЬ I. ХАРАКТЕРИСТИКА СУБСТРАТОВ

МОСКВА 1999

стр.53

СУБСТРАТЫ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ВЕШЕНКИ

ЧАСТЬ I. ХАРАКТЕРИСТИКА СУБСТРАТОВ

Тишенков А.Д., главный специалист Школы грибоводства

© ШКОЛА ГРИБОВОДСТВА

125284, Москва, 1-й Хорошевский пр. 3а, оф. 412
Телефон/факс (095) 255-52-59

СОДЕРЖАНИЕ

стр.
Введение 2
1. *Субстратная база* *3*
1.1. Технологии культивирования вешенки 3
1.2. Возобновляемые растительные ресурсы 5
1.3. Критерии выбора субстратов 7
2. *Химические свойства* *9*
2.1. Состав органических веществ растительных субстратов 9
2.2. Состав лигноцеллюлозного комплекса субстратов 13
2.3. Изменение состава лигноцеллюлозного комплекса субстратов в процессе культивирования 14
2.4. Минеральный состав субстратов 15
2.5. Изменение минерального состава субстратов в процессе культивирования вешенки 18
2.6. pH субстрата. Карбонатная буферная система 19
2.7. Витамины и стимуляторы роста 21
3. *Физические свойства* *21*
3.1. Фазовый состав субстрата. 21
3.2. Твердая фаза. Структура. Дисперсность. Плотность. Упругость 22
3.3. Жидкая фаза. Влажность. Влагоемкость. 24
3.4. Газообразная фаза. Газообмен. Уровень CO_2 27
3.5. Оптимизация физических свойств субстрата. 29
4. *Биологические свойства. Введение.* *30*
4.1. Инфицированность сырья. Первичная и вторичная инфекции. 31
4.2. Конкурентная микрофлора. 32
4.3. Полезная микрофлора. 35
4.4. Селективность. 37
4.5. Влияние термообработки на микроорганизмы субстрата. 41
5. *Питательные добавки.* *43*
5.1. Химический состав. 43
5.2. Медленноразлагающиеся питательные добавки. 44
5.3. Влияние питательных добавок на температуру субстрата. 45
5.4. Внесение питательных добавок. 45
5.5. Влияние питательных добавок на урожайность. 45
6. *Минеральные добавки.* *48*
6.1. Химический состав. 48
6.2. Эффекты минеральных добавок. 49
6.3. Применение. 49
7. *Принципы составления композиций субстратов.* 50
7.1. Основные принципы. 50
7.2. Субстратные композиции. 50
7.3. Показатели эффективности использования субстратов. 53
8. *Планирование урожая.* *54*
8.1. Вынос элементов питания с урожаем. 54
8.2. Планирование урожая. 55
9. *Приложение* *57*

ВВЕДЕНИЕ.

Промышленное культивирование съедобных грибов за последние десятилетия превратилось в мощную индустрию, соединяющую традиционные черты сельского хозяйства и современной биотехнологии. В мире ежегодно выращивается более 5 млн. тонн грибов. Гриб вешенка сравнительно недавно стал культивироваться промышленным способом, но уже вышел по объему производства на второе место после шампиньона, что составляет более 900 тыс. тонн в год.

Вешенка один из наиболее быстро растущих съедобных грибов, при этом она обладает удивительно эффективной способностью конвертировать питательный субстрат в биомассу плодовых тел. Вешенка адаптирована к широкому спектру растительных субстратов, способна конкурировать с посторонней микрофлорой, устойчива к болезням, имеет высокую продуктивность и короткий цикл развития. Выращиванием вешенки занимаются сотни тысяч фермеров по всему миру. В России производство вешенки пока находится в стадии становления, однако, перспективы развертывания этой грибной индустрии очень большие.

Россия обладает огромными запасами возобновляемых растительных ресурсов, пригодных в качестве сырья для культивирования вешенки. Среди культивируемых видов грибов вешенка держит первенство как по разнообразию технологий выращивания, так и по широте спектра используемых субстратов. Практически в любом месте земного шара можно подыскать подходящие местные субстраты для выращивания вешенки. Знание особенностей различных субстратов, их физических, химических и биологических свойств помогает грибоводу составить эффективные композиции субстратов, обеспечивающие высокую продуктивность вешенки.

В глобальном биосферном круговороте веществ грибы, и в том числе вешенка, выполняют роль редуцентов или деструкторов растительных органических остатков. В процессе разложения органических веществ в атмосферу выделяется углекислый газ, а азотные и минеральные элементы возвращаются в почву, где они снова могут быть использованы растениями. Уникальное свойство вешенки расти на разнообразных лигноцеллюлозных субстратах обусловлено наличием высококачественных гидролитических ферментов, разрушающих полисахариды клеточных стенок растений, а также полифенолоксидаз, участвующих в деградации лигнина.

Культивирование вешенки - безотходное производство. Это пример экологической технологии, которая обеспечивает эффективную утилизацию субстратов, засоряющих и загрязняющих окружающую среду. Использование в качестве сырья для культивирования вешенки малоценных, свободных, местных, восполняемых ресурсов (отходов), позволяет получать ценный, белковый, деликатесный, пищевой продукт (грибы), а отработанный субстрат применять как органическое удобрение для открытого и закрытого грунта (микоудобрение), как субстрат для вермикультуры (микосубстрат) или как питательную добавку в корма с/х животным (микокорм) (рис.1).

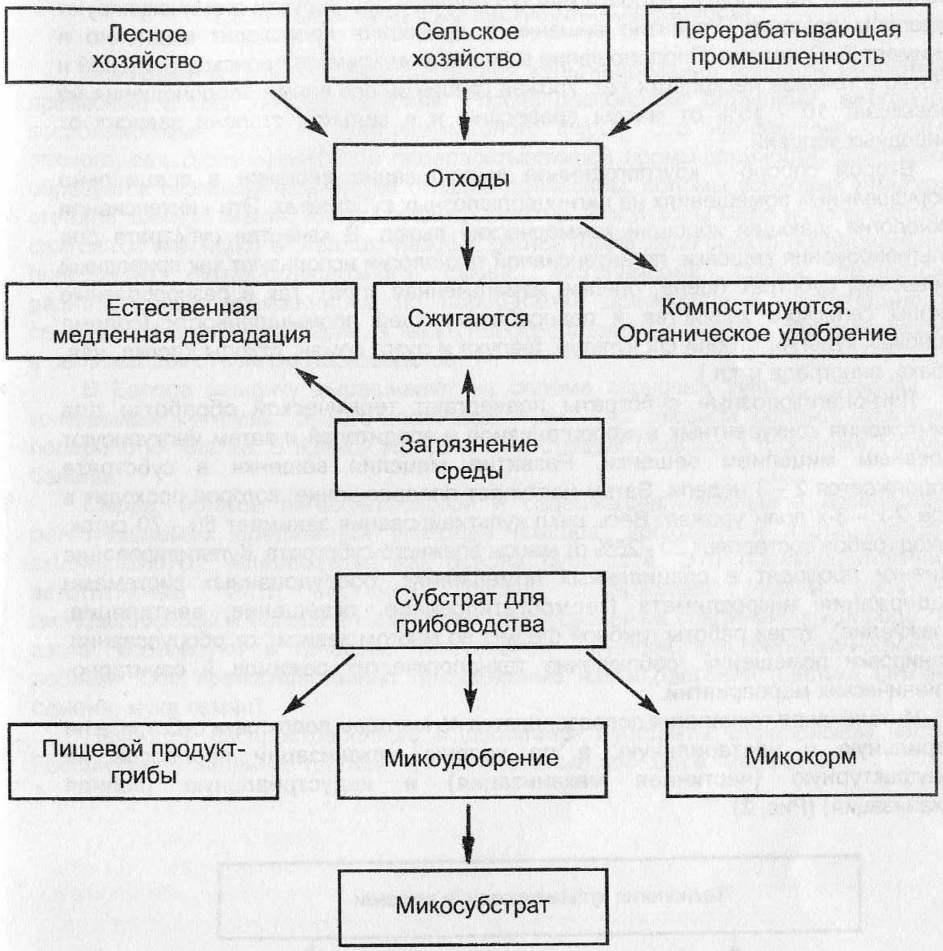

Лесное хозяйство
Сельское хозяйство
Перерабатывающая промышленность
Отходы
Естественная медленная деградация
Сжигаются
Компостируются. Органическое удобрение
Загрязнение среды
Субстрат для грибоводства
Пищевой продукт- грибы
Микоудобрение
Микокорм
Микосубстрат

Рис.1. Грибоводство - экотехнология XXI века.

1. СУБСТРАТНАЯ БАЗА

1.1. Технологии культивирования вешенки.

Есть два основных способа культивирования вешенки. Первый способ - это выращивание вешенки в естественных условиях на природном субстрате - древесине, преимущественно лиственных пород деревьев. Эту технологию называют природной или экстенсивной. Она не дает серьезных коммерческих результатов, но может использоваться для любительского выращивания на приусадебных участках. Используют свежеспиленную древесину, которую распиливают на чурбаки. Чурбаки или оставшиеся после рубки пни инокулируют мицелием вешенки. Развитие вешенки в древесине происходит медленно и занимает 2 - 3 месяца. Плодоношение в умеренном климате происходит весной и осенью в течение нескольких лет. Урожай грибов за все время плодоношения не превышает 10 - 15% от массы древесины и в сильной степени зависит от природных условий.

Второй способ - круглогодичное выращивание вешенки в специально оборудованных помещениях на лигноцеллюлозных субстратах. Это - интенсивная технология, дающая хороший коммерческий выход. В качестве субстрата для культивирования вешенки по интенсивной технологии используют как природный древесный субстрат (щепа, опилки, измельченная кора), так и разнообразные отходы сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности (солома зерновых культур, стебли с/х культур, шелуха и лузга семян, отходы хлопка, чая, табака, винограда и т.п.).

Лигноцеллюлозные субстраты подвергают термической обработке для уничтожения конкурентных микроорганизмов и вредителей и затем инокулируют посевным мицелием вешенки. Развитие мицелия вешенки в субстрате продолжается 2 - 3 недели. Затем наступает плодоношение, которое проходит в виде 2-х - 3-х волн урожая. Весь цикл культивирования занимает 60 - 70 суток. Выход грибов составляет 20 - 25% от массы влажного субстрата. Культивирование вешенки проводят в специальных помещениях, оборудованных системами поддержания микроклимата (термостатирование, освещение, вентиляция, увлажнение). Успех работы грибной фермы во многом зависит от оборудования, планировки помещений, соблюдения технологических режимов и санитарно-гигиенических мероприятий.

Интенсивная технология подразделяется по методам подготовки субстрата на стерильную и нестерильную, а по уровню механизации процессов на мануфактурную (частичная механизация) и индустриальную (полная механизация) (Рис. 2).

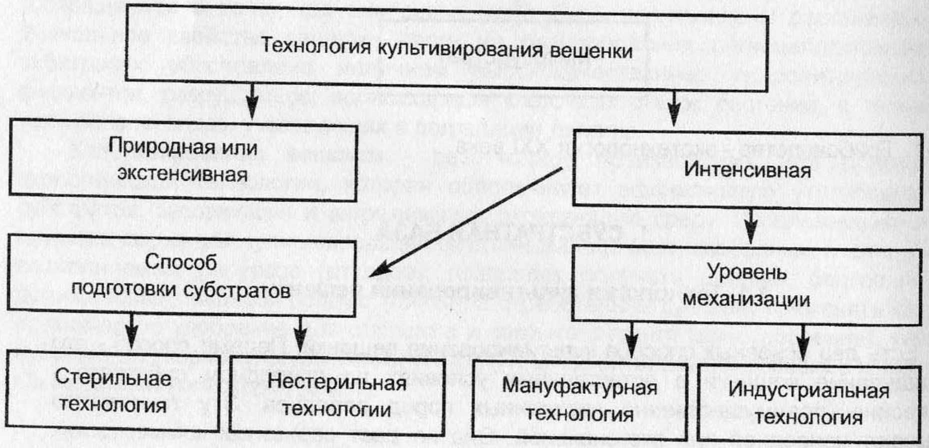

Технология культивирования вешенки
Природная или экстенсивная
Интенсивная
Способ подготовки субстратов
Уровень механизации
Стерильнае технология
Нестерильная технологии
Мануфактурная технология
Индустриальная технология

Рис. 2. Технология культивирования вешенки

1.2. Возобновляемые растительные ресурсы.

Основным источником субстратов для культивирования вешенки являются древесные и травянистые растения. Россия располагает большими, ежегодно восполняемыми видами лигноцеллюлозного сырья. Это малоценные отходы лесного, сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности. Ежегодно образуется огромное количество отходов древесины, соломы зерновых культур, стеблей, шелухи семян, костры лубяных культур. Эти отходы мало используются, сжигаются или гниют в отвалах. Каждый регион имеет свой спектр потенциально пригодного лигноцеллюлозного сырья. Источниками сырья являются разнообразные производства по переработке древесины и растительного сельскохозяйственного сырья, а также непосредственные отходы, образующиеся в сельскохозяйственном производстве.

В Европе вешенку выращивают на соломе зерновых культур, стеблях и кочерыжках кукурузы. В Юго-Восточной Азии - на рисовой соломе, отходах переработки хлопка. В Южной Америке - на отходах сахарного тростника, кофе, банана.

Сырье, богатое лигноцеллюлозой и содержащее небольшое количество легкоусвояемых соединений углерода (сахара, крахмал) и азота (белки, аминокислоты), используется как основа субстрата. Это преимущественно вегетативные части растений. Сырье, содержащее низкий уровень лигноцеллюлозы и большое количество легкоусвояемых соединений углерода и азота, используют в качестве питательной белковой или белково-жировой добавки. Это преимущественно генеративные части растений (шелуха семян, семена, мука семян).

Наиболее распространенные и доступные субстраты Европейской части России представлены в таблице 1, а питательные добавки в таблице 2.

Таблица 1.
Сырье для культивирования вешенки, используемое как основа субстрата

№	Источник сырья	Материал
1.	Лесоперерабатывающая промышленность	Древесина лиственных пород деревьев: тополь, ольха, береза, осина, липа, вяз и др.
1.1.	Лесопильни	
1.2.	Тарные заводы	
1.3.	Спичечные фабрики	
1.4.	Паркетные производства	
2.	Текстильная промышленность	
2.1.	Хлопкоперерабатывающие фабрики	Отходы переработки хлопка: очесы, орешек, угары, подметь и т.п.
2.2.	Льноперерабатывающие фабрики	Костра льна
3.	Бумажная переработка	
3.1	Типографии.	Газетные отходы: бумажные обрезки, бумажная крошка
3.2.	Картонные фабрики	Картон, картонная крошка
4.	Сельское хозяйство	
4.1.	Плодоводство	Обрезь плодовых культур, винограда
4.2.	Растениеводство	Солома зерновых культур: пшеница, рожь, овес, ячмень, просо
4.3.	Перерабатывающая промышленность	Лузга подсолнечника, гречихи. Кукурузные кочерыжки, стебли Стебли, листья технических культур, многолетних, однолетних трав
5.	Парфюмерная, медицинская промышленность	Отходы экстракции эфирно-масличных культур
6.	Гидролизные производства	Отходы гидролиза древесной щепы, соломы, лузги и др. растительного сырья: целлолигнин
7.	Маслобойные производства	Лузга подсолнечника

Таблица 2.
Сырье для культивирования вешенки, используемое как добавка в субстрат

Источник сырья	Материал
Мукомольные производства	Отходы переработки зерна: отруби, полова, шелуха
Табачные фабрики	Отходы табака: стебли, пыль
Чайные фабрики	Отходы чая: стебли, пыль
Пивоваренные производства	Пивная дробина, солодовые ростки
Масложировые производства	✓ Жмых подсолнечника, льна, мука семян хлопчатника, мука семян сои
Кондитерские производства	Отходы какао-бобов (какавелла), арахиса (шелуха), кунжута
Комбикормовые производства	✓ Травяная мука, мука гороха, сено бобовых (клевер, люцерна)
Птицефабрики	Мука из птичьего пера
Крахмальные производства	Белковая мука
Виноградарство	Выжимки винограда

1.3. Критерии выбора субстратов.

Критериями для выбора субстратов служат: химические свойства, физические свойства, биологические свойства, технологические свойства, производственные свойства. Необходимо также учитывать вопросы заготовки, транспортировки и хранения. И, наконец, такие важные характеристики, как рост мицелия и урожайность вешенки на определенном субстрате, а также экологическая чистота субстрата (табл. 3).

Крупные производители вешенки в Европе очень ответственно подходят к выбору субстрата, чаще всего соломы. Для заготовки соломы выбирают поле, где применяли минимум химических средств защиты растений, где нет зараженности тяжелыми металлами, радионуклидами. Солома должна быть сухой, чистой, без примесей (т.е. однородной), минимально инфицированной конкурентными плесневыми грибами, иметь хорошую структуру, питательность, обеспечивать хороший рост мицелия и урожайность вешенки. Соломы должно быть много, чтобы было возможно заготовить одну партию на год работы. Солома должна быть спрессована в тюки для удобства транспортировки и хранения. Стоимость соломы должна быть невысокой. В Европе иногда солому завозят из соседних стран, где она дешевле.

Таким образом, важнейшим условием успешной работы грибной фермы является создание надежной сырьевой базы, удовлетворяющей основным критериям выбора субстрата. В зонах с неблагоприятной экологической обстановкой обязательно проводят входной контроль сырья. Предсказуемость результатов работы на определенном субстрате во многом связана со стандартностью его качественных характеристик. В этом случае разработанный режим подготовки субстрата дает постоянные надежные результаты.

Качественный субстрат для выращивания вешенки должен удовлетворять основные потребности гриба в питательных веществах: белках, жирах, углеводах, минеральных веществах (макро и микроэлементы). Поэтому знание химического состава субстратов необходимо для выбора наиболее продуктивного варианта.

Таблица 3.
Критерии выбора субстратов.

Критерии выбора	**Характеристики**
Производственные	Доступность, транспортировка, стоимость, хранение
Технологические	Однородность, технологичность
Биологические	Инфицированность, селективность
Физические	Структура, прочность, дисперсность, влажность, влагоемкость
Химические	Состав, соотношение C/N, pH, питательность
Микологические	Рост мицелия вешенки, урожайность (биологическая эффективность)
Экологические	Экологическая чистота (пестициды, тяжелые металлы, радионуклиды)

2. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

2.1. Состав органических веществ растительных субстратов.

По определению органические соединения - это соединения, содержащие углерод. Помимо углерода почти все органические соединения содержат водород и кислород и в меньшем количестве азот, фосфор и серу (табл. 4).

Основную сухую массу растительных клеток составляют четыре типа органических соединений: это ***углеводы, липиды, белки*** и ***нуклеиновые кислоты*** (табл. 5).

Углеводы - это соединения, содержащие углерод в сочетании с водородом и кислород. Углеводы самые распространенные в природе органические вещества. В растениях их содержание иногда доходит до 90% сухой массы. Углеводы включают несколько групп соединений: *моносахариды*, *олигосахариды* и *полисахариды* (табл. 6). Моносахариды самые простые соединения и потребляются микроорганизмами в первую очередь. Олигосахариды состоят из двух или нескольких молекул моносахаридов и должны перед потреблением расщепляться ферментами на сахарные компоненты - моносахариды. Наиболее трудно доступными являются полисахариды растений. Для расщепления полисахаридов до моносахаридов у микроорганизмов выработались комплексы ферментов: одни из них разрыхляют полисахарид, другие отщепляют олигосахариды, третьи отщепляют моносахара. В растениях полисахариды защищены от биодеградации микроорганизмами путем экранирования молекулами фенольного полимера - *лигнина*. Лигнин составляет существенную часть растительных полисахаридов. В целом лигноцеллюлозный комплекс растений весьма устойчив к ферментативному расщеплению.

Жиры - важнейшие запасные вещества. Некоторые растения накапливают жиры (масла) в больших количествах, особенно в семенах и плодах. Растения содержат также воска, которые защищают ткани растений от потери влаги и часто затрудняют процесс увлажнения растительного сырья, например, соломы. При окислении жиров выделяется около 9,3 Ккал/г, а углеводов - всего 3,8 Ккал/г. Таким образом, жиры являются концентрированным источником энергии.

Белки, подобно полисахаридам, являются полимерами, состоящими из мономеров аминокислот. У растений самая высокая концентрация белков обнаружена в семенах (более 40% сухой массы), вегетативные части содержат невысокий уровень белка (2 - 5%).

Нуклеиновые кислоты - это полимеры, состоящие из нуклеотидов: пуринов и пиримидинов. Нуклеиновые кислоты участвуют в хранении генетической информации (ДНК) и переносе информации при синтезе белков (РНК).

Таблица 4.
Элементный состав органических соединений растений, % от сухой массы

Элементы	Углерод C	Кислород O	Водород H	Азот N	Фосфор P	Сера S
Содержание	~ 44 - 50	~ 44	~ 6	1 - 4	0,1 - 0,8	0,1

Таблица 5.
Основные классы органических соединений

Органические соединения	Функции	Компоненты	Элементы
Углеводы	источник энергии, структурный материал	Моносахара, сахарные кислоты, спирты	C, H, O
Липиды	Запасание энергии, структурный материал	Жирные кислоты, глицерин	C, H, O
Белки	Структурный материал, ферменты	Аминокислоты	C, H, O, N, S
Нуклеиновые кислоты	Синтез белка	Нуклеотиды, фосфаты	C, H, O, N, P

Таблица 6.
Состав органических веществ растений.

Органические соединения	Компоненты	Ферменты, разрушающие органические вещества
Углеводы		
Моносахариды		
Сахара	Фруктоза, глюкоза	Поглощаются непосредственно
Кислоты	Галактуроновая кислота	
Спирты	Маннитол	
Олигосахариды		
Сахароза	Глюкоза + фруктоза	Глюкозидаза
Целлобиоза	Глюкоза + глюкоза	Целлобиаза
Полисахариды		
Крахмал	Глюкоза	Амилазы
Целлюлоза	Глюкоза	Целлюлазы
Пектин	Галактуроновая кислота	Пектиназы
Гемицеллюлоза или пентозаны	Ксилоза, арабиоза, галактоза	Ксиланазы, гемицеллюлазы
Лигнин	Фенольные соединения	Полифенолоксидазы (лакказа, пероксидаза и др.)
Жиры	Глицерин, жирные кислоты	Липазы
Белки	Аминокислоты	Протеиназы
Нуклеиновые кислоты	Нуклеотиды: пурины, пиримидины	Нуклеазы

Растительные субстраты существенно различаются по содержанию основных органических компонентов: углеводов, жиров, белков (табл. 7).

Вегетативные части растений - древесина, соломина, стебли, листья - содержат небольшое количество белка и жиров и высокий уровень нерастворимых, трудно разлагаемых полисахаридов: целлюлозы, гемицеллюлозы, а также полимера - лигнина. Вегетативные части растений обычно используют в качестве основы субстрата.

Генеративные части растений - плоды, семена - содержат много белка и жиров, высокий уровень легко доступных углеводов (крахмал, моносахара, дисахариды) и низкий уровень трудно доступных полимеров - целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Генеративные части используют в качестве питательных белково-жировых добавок.

Таблица 7.
Состав органических веществ растительных субстратов, % от сухой массы

Субстрат	Белок	Общий азот, $N_{общ.}$	Жиры	Клетчатка (целлюлоза)
ВЕГЕТАТИВНАЯ ЧАСТЬ - основа субстрата				
✓ Солома зерновых культур	3.5-4.0	0.5-0.6	1.2-1.5	30-40
Кукурузные кочерыжки	2.3	0.37	0.4	25-32
Лузга подсолнечника	4.4	0.7	3.5	23-30
Костра льна	3.4	0.5	2.0	26-35
Древесные опилки	1.3	0.2	0.25	45-55
ВЕГЕТАТИВНАЯ ЧАСТЬ - питательные добавки				
✓ Сено клевера	12.5	2.0	2.1	27
Сено люцерны	14.8	2.4	2.0	29
ГЕНЕРАТИВНАЯ ЧАСТЬ питательные добавки				
Отруби пшеницы	16.9	2.7	4.6	9.6
Пивная дробина	20.0	3.2	5.7	18.1
Мука семян люцерны	33.2	5.3	10.2	8.7
Мука семян сои	47.9	7.7	6.7	2.4

В растительном субстрате содержатся легко доступные органические вещества, такие как растворимые сахара, олигосахариды, крахмал. Эти соединения потребляются всеми микроорганизмами и, в первую очередь, конкурентными плесневыми грибами - Trichoderma, Penicillium, Aspergillus, Mucor и т.п. Такие грибы называют еще "сахарными" (Рис. 3).

Трудно доступные соединения в форме полисахаридов: целлюлозы, гемицеллюлозы, пектина утилизируют грибы, имеющие соответствующие комплексы гидролитических ферментов: целлюлаз, пектиназ, ксиланаз. Разрушая целлюлозу из лигноцеллюлозного комплекса, эти грибы оставляют нетронутым лигнин, что придает субстратам более темный, коричневый вид. Такие грибы вызывают "коричневую гниль" древесины. Это некоторые высшие грибы, а также такие конкурентные плесени как Trichoderma.

Грибы, разрушающие самый труднодоступный полимер растительного субстрата - лигнин, относятся к группе "белых гнилей". Эти грибы примерно в одинаковой степени утилизируют целлюлозу и лигнин. Субстрат после деструкции грибами - "белой гнили" приобретают светлый вид. К этой группе относятся многие съедобные культивируемые грибы: вешенка, шиитаке, фламмулина, строфария и др.

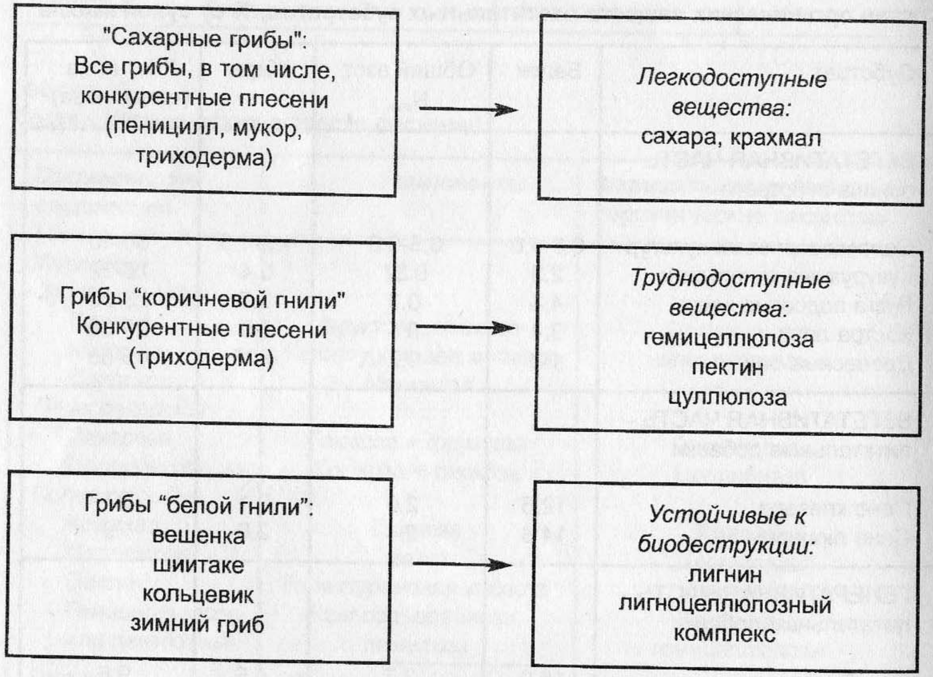

"Сахарные грибы":
Все грибы, в том числе, конкурентные плесени (пеницилл, мукор, триходерма)
Легкодоступные вещества:
сахара, крахмал
Грибы "коричневой гнили"
Конкурентные плесени (триходерма)
Труднодоступные вещества:
гемицеллюлоза
пектин
цуллюлоза
Грибы "белой гнили":
вешенка
шиитаке
кольцевик
зимний гриб
Устойчивые к биодеструкции:
лигнин
лигноцеллюлозный комплекс

Рис. 3. Органические вещества растительного субстрата и его потребители.

2.2. Состав лигноцеллюлозного комплекса субстратов.

Лигноцеллюлозный комплекс растительного субстрата состоит из трех основных компонентов: целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Соотношение компонентов отличается в разных субстратах (табл. 8).

Легче всего деградации подвержена гемицеллюлоза, состоящая из таких мономеров как ксилоза (ксилан), арабиноза (арабан) и манноза (маннан). Комплекс специфичных для этого субстрата ферментов расщепляет полисахариды на олигомеры, а затем на мономеры-сахара. Целлюлоза состоит из мономера глюкозы и плотно упакована в микротрубочки, которые также расщепляются комплексом ферментов-целлюлаз: C_1 - ферменты разрыхляют микрофибриллы, C_x - ферменты образуют олигомеры, а глюкозидоза (целлобиаза) отщепляет моносахара. Наиболее устойчив к ферментативному разрушению лигнин, состоящий из различных фенольных мономеров, которые могут соединяться также различным образом. Деградация лигнина происходит под действием ферментов полифенолоксидаз: пероксидазы, лакказы, тирозиназы и других.

Таблица 8.
Состав лигноцеллюлозного комплекса растительного субстрата, %

Субстрат	Целлюлоза	Гемицеллюлоза	Лигнин
Древесина	35-55	20-30	20-30
Солома	30-40	20-30	6-20
Кукурузные кочерыжки	25-35	25-35	6-18
Лузга подсолнечника	23-30	18-25	20-30
Костра льна	26-35	18-22	25-33

Вешенка относится к грибам "белой гнили", которые способны к деструкции, как целлюлозы, так и лигнина. Наибольшая активность лакказы вешенки наблюдается на 6 - 8 сутки прорастания мицелия в субстрате, что соответствует окончанию фазы колонизации и началу фазы освоения субстрата (рис. 4). В это же время наблюдается и пик целлюлазной активности.

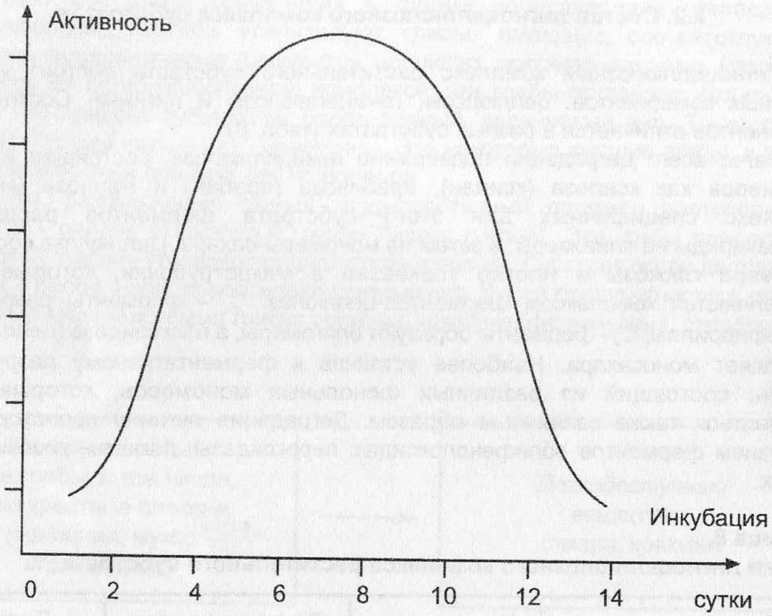


Рис. 4. Активность лакказы и целлюлазы в соломистом субстрате.

2.3. Изменение состава лигноцеллюлозного комплекса субстратов в процессе культивации.

Вешенка является активным деструктором лигноцеллюлозного комплекса субстратов. В процессе ферментативного разрушения комплекса происходит биодеградация лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы. Степень разрушения этих компонентов зависит от типа субстрата, от вида и штамма гриба (табл. 9, 10). В целом отмечается примерно одинаковая потеря массы целлюлозы и лигнина.

Степень деструкции лигноцеллюлозного комплекса зависит от длительности процесса культивации вешенки и количества снимаемых волн плодоношения. С каждой новой волной плодоношения питательность субстрата снижается, уменьшается его влагосодержание и происходит накопление самоингибиторов роста и плодоношения. Состав субстрата в процессе культивации существенно изменяется. Около 40 - 60% сухого вещества субстрата уходит с углекислым газом и "биологической водой", образующейся при гидролизе полисахаридов и "сгорании" сахаров в процессе дыхания. Около 10% сухой массы субстрата переходит в плодовые тела вешенки, 30 - 50% первоначальной массы остается в виде отработанного субстрата. Отношение C/N меняется от 100/1 к 30-50/1. Субстрат относительно обогащается неорганическими компонентами (зола), азотистыми веществами (аминокислоты) и различными продуктами жизнедеятельности вешенки. Относительные пропорции лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы остаются в субстрате примерно такими же, как в начале культивации, хотя их абсолютное содержание снижается на 30 - 70%. Тем не менее, потенциал субстрата используется не полностью. Если субстрат замочить в воде на ночь и таким образом вымыть ингибиторы плодоношения и повысить влагосодержание, можно получить еще дополнительно одну хорошую волну плодоношения, а иногда и две волны.

Таблица 9.
Деструкция лигноцеллюлозного комплекса стеблей хлопчатника и соломы пшеницы вешенкой обыкновенной

Субстрат		Содержание, % от сухой массы		
		Сухая масса	Лигно-целлюлоза	Зола
Стебли хлопчатника	А Б	42,5 28,9	56,4 52,5	7,3 11,9
Солома пшеницы	А Б	90,1 30,0	65,4 34,5	13,1 24,7

А - Исходное сырье
Б - Отработанный субстрат

Таблица 10.
Деструкция лигноцеллюлозного комплекса древесины (обрезь плодовых деревьев) вешенкой обыкновенной

Компонент	Содержание, % от сухой массы			Δ	Деструкция %
	Исходный субстрат	Полное обрастание	Отработанный субстрат		
Целлюлоза	48,7	38,7	32,5	16,2	33,3
Лигнин	32,8	27,7	20,1	12,7	38,7

2.4. Минеральный состав субстратов.

Растительное сырье содержит разнообразные минеральные элементы, накопленные растениями в процессе роста. Состав макро- и микроэлементов растений (усредненный) показан в табл. 11.

Основные макроэлементы растительного сырья: калий, кальций, фосфор, магний, сера.

Основные микроэлементы: железо, медь, марганец, цинк, молибден, кобальт.

Минеральные элементы выполняют важные структурные и метаболические функции, как в растительных, так и в грибных клетках. Содержание минеральных элементов в растительном сырье обычно достаточно высокое и полностью обеспечивает потребности в минеральных элементах культивируемого гриба.

Таблица 11.
Минеральный состав растительных субстратов.

Элементы	Содержание на сухую массу	Главные функции элементов в грибах
Макроэлементы		
Калий (K)	0,5 - 6%	Входит в состав ферментов. Необходим для синтеза белка. Активатор ферментов.
Кальций (Ca)	0,2 - 3,5%	Компонент клеточных оболочек. Активатор ферментов. Клеточная проницаемость.
Фосфор (P)	0,1 - 0,8%	В составе энергетических фосфатов (АТФ)
Магний (Mg)	0,1 - 0,8%	Активатор ферментов.
Сера (S)	0,5 - 1%	Компонент аминокислот, белков.
Микроэлементы		
Железо	25 - 300 ppm*	Входит в состав ферментов
Медь (Cu)	4 - 30 ppm	Активатор ферментов
Марганец (Mn)	15 - 800 ppm	Активатор ферментов
Цинк (Zn)	15 - 100 ppm	Активатор ферментов
Молибден (Mo)	0,1 - 5,0 ppm	Активатор ферментов
Кобальт (Co)	< 0,1 ppm	Азотфиксация

*ppm - 1 часть на миллион, например, 1 мг/кг.

Содержание минеральных макроэлементов в различных видах растительного сырья представлено в табл. 12, содержание макро- и микроэлементов соломы пшеницы в табл. 13.

Минеральный состав растительного сырья достаточно сильно зависит от состава почвы, что было показано для разных образцов соломы (табл. 14). Однако различий в урожайности вешенки на этих образцах обнаружено не было, что говорит об отсутствии дефицита каких-либо минеральных элементов в данной ситуации.

Минеральный состав сырья может влиять на химический состав плодовых тел вешенки, правда, эти изменения большей частью касаются содержания микроэлементов (табл. 15).

Минеральный состав субстрата обогащается элементами, вносимыми с минеральной добавкой (гипс, мел или известь), элементами, входящими в состав питательных добавок и посевного мицелия. Таким образом, сумма этих компонентов может полностью обеспечить потребности вешенки в минеральных элементах питания.

Таблица 12.
Содержание минеральных веществ в различных субстратах, % от сухой массы субстрата

Субстрат	N	P	K	Ca
Солома:				
Пшеницы	0,62	0,07	0,79	0,21
Ячменя	0,59	0,11	1,33	0,32
Ржи	0,56	0,09	0,90	0,26
Овса	0,66	0,10	1,35	0,20
Риса	0,62	0,07	1,22	0,19
Кукурузные кочерыжки	0,37	0,02	0,37	0,10
Хлопковые очесы	0,62	0,07	0,87	0,14
Сено (разнотравье)	1,12	0,21	1,20	0,48

Таблица 13.
Минеральный состав соломы (содержание на сухую массу)

Макроэлементы	В граммах на 1 кг сухого вещества	Макроэлементы	В миллиграммах 1 кг сухого вещества
Ca	32	Fe	131
K	5	Mn	80
Mg	0,6	Zn	15
P	0,5	Cu	3
Na	0,3		

Таблица 14.
Минеральный состав соломы из разных мест произрастания (почв)

Образцы	Содержание, % от сухой массы				
	N	P	K	Ca	Mg
1	0,52	0,04	1,31	0,20	0,07
2	0,31	0,07	1,00	0,18	0,06
3	0,58	0,75	0,70	0,60	0,06

Таблица 15.
Влияние типа субстрата на минеральный состав вешенки

Субстрат	Зола,%	Содержание минералов, мг на 100 г сухой массы							
		P	K	Na	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn
1	7,2	1560	26	114	256	31	21	0.2	2.8
2	6,3	1251	17	94	167	29	137	3.6	8.6
3	4,7	1462	31	123	399	32	210	5.8	3.6

1 - стебли с/х культур
2 - стебли с/х культур + рисовая солома (1:1)
3 - стебли с/х культур + рисовая солома + кукурузная кочерыжка (1:1:1)

2.5. Изменение минерального состава субстратов в процессе культивирования вешенки.

Во время культивирования вешенки происходит медленная минерализация субстрата, которая продолжается затем при попадании отработанного субстрата в почву и заканчивается возвращением питательных элементов в глобальный круговорот веществ.

Отработанный субстрат теряет до 50 - 80% сухой массы от исходного уровня, а относительное содержание минеральных веществ и азота существенно возрастает (табл. 16).

Таблица 16.
Изменение состава соломистого субстрата в процессе культивации вешенки, % от сухой массы субстрата

	Общий азот, $N_{общ.}$	Зола	K	P	Ca	Mg
Исходный субстрат	0,56-0,69	6,33	1,02	0,16	0,16	0,05
Полное обрастание	0,63-0,78	7,03	1,01	0,12	0,16	0,05
После I волны плодоношения	0,60-0,68	7,01	1,19	0,12	0,77	0,06
Отработанный субстрат	0,71-0,86	21,16	1,18	0,08	1,16	0,19

Состав субстрата сильно изменяется благодаря грибной монокультуре: отношение C/N уменьшается, субстрат обогащается специфическими аминокислотами, витаминами. Это позволяет использовать отработанный субстрат в качестве грибного компоста также успешно, как компостированный навоз. Отработанный соломистый субстрат после культивирования вешенки имеет кормовую ценность примерно равную сену. Отличие данного субстрата от соломы заключается в том, что он частично разрушен и органические и неорганические элементы сконцентрированы в легкоусвояемом виде. Отработанный субстрат после выращивания вешенки можно использовать как микосубстрат для культивирования других видов съедобных грибов, являющихся вторичными деструкторами, которые поселяются на субстратах уже после плодоношения первичных деструкторов (таких как вешенка). К вторичным деструкторам относятся виды шампиньона, кольцевик, рядовка и др.

2.6. pH субстрата.

Важным фактором роста и развития вешенки является реакция питательной среды или субстрата. Очень кислая среда ($pH < 4,0$) ингибирует рост мицелия вешенки. Оптимум pH для мицелия вешенки составляет 5,5 - 6,5. С изменением реакции среды в щелочную сторону ($pH > 7,0$) рост мицелия снова ингибируется. Реакция жидкой или твердой среды изменяется по мере роста мицелия, за счет выделения органических кислот мицелием вешенки. От уровня pH субстрата зависит поступление различных питательных веществ в клетку, активность ферментов, образование пигментов (окраска), антибиотиков, плодообразование. Значение оптимального pH для развития грибов определяется также соотношением в среде углерода и азота (C/N).

Растительные субстраты имеют различный исходный pH и изменяют его в процессе компостирования или ферментирования. В случае возникновения процесса аммонификации происходит образование аммиака, который растворяется в воде в виде иона аммония NH_4^+, что может существенно сдвинуть pH в щелочную сторону: от pH 5 - 6 до 7 - 8.

На кислотность приготовленного субстрата также большое влияние оказывает вода, используемая для замачивания растительного сырья. Вода может иметь различную реакцию от pH = 6,0 до pH = 8,0, в зависимости от растворенных в ней веществ.

Оптимальная реакция среды (pH = 5,5 - 6,5) для роста мицелия вешенки также оптимальна и для роста конкурентных плесеней (Trichoderma и др.). Поэтому при приготовлении субстрата стараются сместить реакцию среды в щелочную сторону (pH 7,5 - 8,5). В этом случае развитие конкурентных плесеней тормозится. Для подщелачивания субстрата используют различные минеральные добавки: известь [$Ca(OH)_2$], мел ($CaCO_3$). Известь - значительно более сильный защелачиватель, чем мел.

Карбонатная буферная система.

В готовом увлажненном субстрате в присутствии карбоната кальция создается карбонатная буферная система (рис. 5). Мицелий вешенки при разрастании в субстрате выделяет большое количество углекислого газа. Углекислый газ слабо растворим в воде. При 20°С в 1 объеме воды растворяется 0,9 объема CO_2. Раствор CO_2 в воде имеет кисловатый вкус и обладает слабокислой реакцией, обусловленной присутствием в растворе небольшого количества угольной кислоты - H_2CO_3:

$$CO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3$$

Равновесие этой реакции сильно сдвинуто влево. Однако в щелочных условиях растворимость CO_2 существенно увеличивается (pH > 7,5). Угольная кислота очень слабая. В растворе она диссоциирует, главным образом, на ионы H^+ и HCO_3^-:

$$H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

Карбонат кальция или мел ($CaCO_3$) плохо растворим в воде (3,3 мкг/л). При взаимодействии мела с угольной кислотой образуется бикарбонат кальция - $Ca(HCO_3)_2$:

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

Бикарбонат кальция существенно больше растворим в воде по сравнению с мелом (1,6г/л) и диссоциирует на ионы Ca_2^+ и HCO_3^-.

Органические кислоты, выделяемые мицелием вешенки, взаимодействуют с Ca_2^+ и образуют нерастворимые соли, например, щавелевой кислоты (оксалаты). Таким образом, происходит связывание кислот и стабилизация pH. Когда парциальное давление CO_2 в воздухе низкое (мало CO_2), то ион HCO_3^- распадается с образованием CO_2 и ионов OH^-, которые защелачивают раствор:

$$HCO_3^- \rightleftarrows CO_2\uparrow + OH^-$$

Таким образом, формируется буферная система, которая сдерживает или тормозит закисление среды.

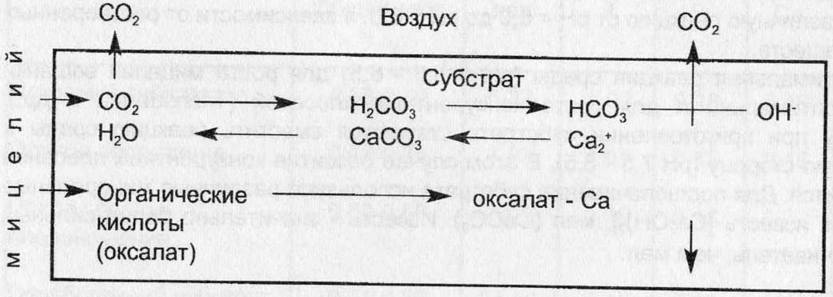


Рис. 5. Карбонатная буферная система.

2.7. Витамины и стимуляторы роста.

Как большинству гетеротрофных организмов грибам для развития и плодоношения необходимы витамины. Многие грибы способны сами синтезировать все необходимые витамины из простых питательных веществ. Важнейшими для метаболизма грибов являются витамины группы B. Вешенка чаще всего нуждается в витамине B_1. Хорошим источником витаминов группы B являются цельные семена зерновых культур, а также отруби семян этих культур. Действительно, наиболее питательной средой для мицелия съедобных грибов является зерно пшеницы, проса, ржи или ячменя. Хороший стимулирующий эффект дает также внесение в соломистый субстрат 5 - 10% отрубей зерновых культур. Ускорение роста мицелия вешенки наблюдается также при добавлении в жидкую или агаровую среды 1,0 - 1,5% муки грубого помола (пшеницы, овса и т.п.).

Стимулируют рост мицелия грибов вытяжки и отвары растений, богатые биологически активными веществами. Смеси аминокислот и нуклеотидов (дрожжевой гидролизат) также стимулируют рост и плодоношение грибов при добавлении небольшого количества этих препаратов (0,05 - 0,2%) в субстрат.

Эндогенные стимуляторы роста грибов, по типу гормонов роста растений, пока еще не выделены, но есть вероятность их обнаружения, так как скорость роста различных видов грибов может отличаться в десятки и сотни раз.

3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

3.1. Фазовый состав субстратов

Физические свойства субстратов, так же как и их химические характеристики, имеют важное значение для производства качественного субстрата. Такие физические параметры субстрата как структура, влагоемкость, влажность, аэрация определяют состав и направление развития микрофлоры, а также рост мицелия культивируемого гриба.

Массу субстрата упрощенно можно рассматривать как трехфазную систему, состоящую из твердой, жидкой и газовой фазы.

Твердая фаза - это сухое вещество субстрата, состоящее из частиц различного размера. Твердая фаза обеспечивает мицелий гриба питательными веществами. Важная характеристика твердой фазы - это структура. Структура определяется размерами частиц (дисперсность) и их прочностью.

Пустоты между частицами заполнены воздухом - это газовая фаза. Состав газовой фазы субстрата может сильно отличаться от состава наружного воздуха. Для развития мицелия вешенки как аэробного организма обязательно наличие в субстратном воздухе определенного количества кислорода, т.е. определенный уровень аэрации.

В увлажненном субстрате часть свободного пространства между частицами и внутри частиц заполнена водой - это водная фаза. Наличие достаточного количества жидкости в субстрате необходимо для обеспечения водой мицелия и плодовых тел грибов, состоящих на 90% из воды. Кроме того, характер питания грибов (осмотический) связан с выделением в наружную среду ферментов и поглощением всей поверхностью мицелия продуктов гидролиза, а этот процесс идет активно только в водной среде.

Твердая, газовая и водная фазы субстрата тесно связаны, и при приготовлении субстрата необходимо учитывать состояние каждой фазы. Например, в переувлажненном субстрате газовая фаза становится слишком маленькой в объеме (вытесняется водой) и уже не обеспечивает необходимого уровня газообмена или аэрации. Вследствие этого в субстрате формируются анаэробные условия неблагоприятные для развития мицелия вешенки.

3.2. Твердая фаза (Структура. Дисперсность. Плотность. Упругость.)

Структура субстрата определяется дисперсностью составляющих его частиц и их механической прочностью. Твердые частицы небольшого размера создают хорошую структуру субстрата, обеспечивающую достаточную аэрацию и оптимальную плотность. Один из вариантов такого субстрата - лузга подсолнечника или солома зерновых культур, измельченная до частиц размером 1,5 - 5 см.

Чем меньше размер частиц органических отходов, тем больше удельная поверхность, открытая для микроорганизмов и их ферментов и тем быстрее происходит их освоение. Однако очень маленькие частицы (< 3мм) упаковываются слишком тесно, образуя материал с высокой плотностью и малой пористостью. В таком субстрате диффузия кислорода и углекислого газа сильно замедлена, что ограничивает скорость роста мицелия.

Для механизированных установок с перемешиванием и принудительной аэрацией оптимальный размер частиц составляет 10 - 20 мм. Для систем с неподвижным слоем субстрата предпочтительнее частицы размером 25 - 50 мм. Плотность субстрата в большей степени зависит от размеров частиц. Так насыпная плотность исходного сырья (соломы) может меняться почти в 3 раза в зависимости от размеров частиц (табл. 17), а также от типа субстрата (табл. 18).

Таблица 17.
Насыпная плотность воздушно-сухой соломы в зависимости от степени измельчения.

Показатель	Размер частиц, см			
	5 - 20	2,5 - 5	1,5 - 2,5	0,5 - 1,5
Насыпная плотность, кг/м³	45	70	85	125

Таблица 18.
Плотность различных субстратов в воздушно - сухом состоянии.

Показатель	Подсолн. лузга	Стебли подсолн.	Костра льна	Обрезь плодовых	Кукурузн. кочерыжка
Насыпная плотность, кг/м³	90	80 - 90	90 - 100	140 - 160	150 - 190
Размер частиц, см	0,5	3 - 5	1 - 3	2 - 4	0,5 - 1,5

Плотность увлажненного субстрата после инокуляции и фасовки в п/э мешки или брикеты составляет 0,35 - 0,50 кг/л, что существенно ниже плотности природного древесного субстрата (не измельченного). Плотность мягких пород деревьев составляет 0,6 - 0,7, а твердых пород (дуб, бук, граб) - 0,7 - 0,8. Слишком мелкие частицы субстрата (< 3 мм) и слишком сильное уплотнение могут привести к образованию анаэробных зон в субстрате, а так как вешенка аэробный организм, то она не сможет освоить, колонизировать эти зоны. В том случае, если основа субстрата состоит из мелких частиц (мелкие опилки), для создания оптимальной структуры в субстрат добавляют древесную щепу, которая делает субстрат более рыхлым и улучшает условия аэрации. Смесь мелких частиц (опилки) и крупных (щепа) создает хорошие условия для роста мицелия. Мелкие частицы, обладая развитой поверхностью, стимулируют быстрый рост мицелия вешенки, облегчая ферментативный гидролиз субстрата. Крупные частицы способствуют образованию хорошо сросшегося блока субстрата, переплетенного гифами гриба. Они становятся базой, основой питания и плодоношения, благоприятствуя образованию крупных плодовых тел (табл. 19).

Таблица 19.
Композиция субстрата с оптимальной структурой на основе опилок и щепы.

Компоненты	Опилки	Щепа	Отруби	Гипс
Количество, %	50	25	20	5

Оптимальный размер частиц для получения субстратов с хорошей структурой составляет 10 - 50 мм. Многие субстраты изначально имеют необходимые размеры частиц и не требуют измельчения, например, лузга подсолнечника, шелуха гречихи, овса, риса, костра льна, хлопковые отходы.

Субстраты, требующие измельчения, такие, как солома зерновых культур, стебли подсолнечника, кукурузы, хлопчатника, обрезь плодовых культур, измельчают в различного типа дробилках, соломорезках, измельчителях грубых кормов, измельчителях различных материалов.

Прочность частиц субстрата изменяется в процессе термической обработки. Чем выше температура обработки и ее длительность, тем меньшей становится прочность частиц. Этот параметр необходимо контролировать в ходе термической обработки, чтобы не получить переуплотненного субстрата. "Переферментация" субстрата при 50 - 60°С также может привести к подобному результату, если процесс ведется слишком долго (более 2 - 3 суток).

3.3. Жидкая фаза (Влажность. Влагоемкость)

Влажность исходного сырья.

Этот показатель особенно важен в случае длительного хранения сырья. Влажность воздушно - сухого растительного сырья колеблется в пределах 7 - 15%. Повышение влажности сырья во время хранения до уровня более 15 - 20 % создает условия для начала жизнедеятельности субстратной микрофлоры (бактерии, плесени). В результате активности микрофлоры выделяется много биологического тепла, субстрат разогревается, и процесс еще более активизируется. Субстрат начинает "гореть". Самосогреванию особенно подвержены субстраты, богатые азотом. Споры конкурентных плесеней начинают активно прорастать, если температура в субстрате превышает 30 - 35°С, они формируют мицелий, который через 4 - 5 дней может образовать миллионы спор второй генерации. Таким образом, первичная инфекция переходит во вторичную, и инфицированность субстрата возрастает в 100 - 1000 раз, что может сделать субстрат непригодным для использования.

Влажность готового субстрата

Технология культивирования вешенки большей частью предусматривает фасовку готового субстрата в полиэтиленовые мешки. Поэтому субстрат должен иметь достаточный запас воды на весь период культивации. Дополнительное увлажнение субстрата затруднено из-за пленочного покрытия или плотной корки мицелия с наружной стороны субстрата. Для большей части растительных субстратов оптимальная влажность находится в пределах 65 - 75%.

Чтобы достичь такого уровня влажности субстраты замачивают водой в течение нескольких часов или даже дней: для соломы требуется 2 - 3 дня, для опилок, хлопковых очесов, лузги - несколько часов. Для ускорения насыщения субстратов водой применяют перемешивающие устройства, используют горячую воду или вводят воду в субстрат под вакуумом (современные системы ускоренного увлажнения соломы). Солома злаковых культур увлажняется медленно из-за наружного воскового слоя, поэтому если солома после соломорезки обрабатывается в молотковой дробилке, где соломина плющится, и восковой слой частично снимается, процесс ее увлажнения сокращается по времени.

Вода в субстрате находится в различном состоянии:

1) связанная химически (прочно - связанная) - до 30%;
2) сорбционная, внутриклеточная, капиллярная - 30-70%;
3) свободная - выше 70%.

Для нормальной жизнедеятельности мицелия вешенки субстрат должен содержать не менее 50% воды. Природный древесный субстрат имеет влажность в пределах 35 - 50% (табл. 20). Рыхлые субстраты (отходы с/х) имеют за счет измельчения очень большую активную поверхность, которая адсорбирует воду и способствует увлажнению субстрата до уровня выше 70%. Наличие в растительном субстрате капиллярoподобных структур, как соломина зерновых, также способствует удерживанию воды.

Влажность субстрата - это отношение массы воды к сырой массе субстрата, выраженное в процентах.

$$w = \frac{m_в}{m_{обр.}} \times 100\%,$$

где $m_в$ - масса воды,
$m_{обр.}$ - масса образца.

Влажность субстрата (w) определяют высушиванием навески субстрата в сушильном шкафу при температуре 105°С в течение 4 - 6 часов до постоянного веса или 10 - 15 мин. в микроволновой печи.

Влажность субстрата сказывается на урожайности вешенки. Если воды в субстрате мало, то грибы появляются только в первую волну или вторая волна очень незначительна. Если воды слишком много, то снижается выход грибов на первой и второй волне плодоношения (табл. 21). Избыток воды в субстрате, также как переуплотнение субстрата, может способствовать образованию анаэробных зон, что снижает продуктивность культуры.

Таблица 20.
Естественная влажность древесины разных пород деревьев.

Показатель	Ольха	Бук	Береза	Дуб	Каштан
Влажность, %	49	39	42	41	55

Таблица 21.
Влияние влажности субстрата на урожайность (субстрат - хлопковый очес; масса блока 1,5 кг).

Соотношение субстрат:вода	Влажность,%	1волна	2 волна	Сумма
1 : 1	50	50	-	50
1 : 2	67	150	50	200
1 : 3	75	180	100	280
1 : 4	80	100	80	180

Влагоемкость

Влагоемкость или водоудерживающая способность - это максимальное количество воды, поглощенной единицей массы сухого вещества субстрата:

$$W = \frac{m_{в}}{m_{с.в.}} \times 100\%,$$

где $m_{в}$ - масса воды,
$m_{с.в.}$ - масса сухого вещества.

Различные материалы могут сильно отличаться по влагоемкости (табл. 22). Субстраты с наиболее тонкой волокнистой структурой, имеющей огромную сорбирующую активность, обладают самой высокой влагоемкостью (хлопковые очесы, мох сфагнум). В среднем большинство растительных субстратов имеют влагоемкость от 200 до 400%.

Влажность субстрата и влагоемкость связаны определенным образом. Чем выше влагоемкость субстрата, тем большую влажность можно достигнуть в нем (табл. 23).

Таблица 22.
Влагоемкость различных материалов

Материал	Влагоемкость, %
Песок	10
Глина	40
Почва	60
Торф	100
Торфяной мох	250
Солома	300
Хлопковые очесы	400 - 570
Сфагнум	900

Таблица 23.
Соотношение влажности и влагоемкости

Субстрат	древесина		солома, лузга, шелуха, стебли			хлопковые очесы		сфагнум
Влажность,%	50	60	65	70	75	80	85	90
Влагоемкость,%	100	150	185	233	300	400	570	900

Водный баланс

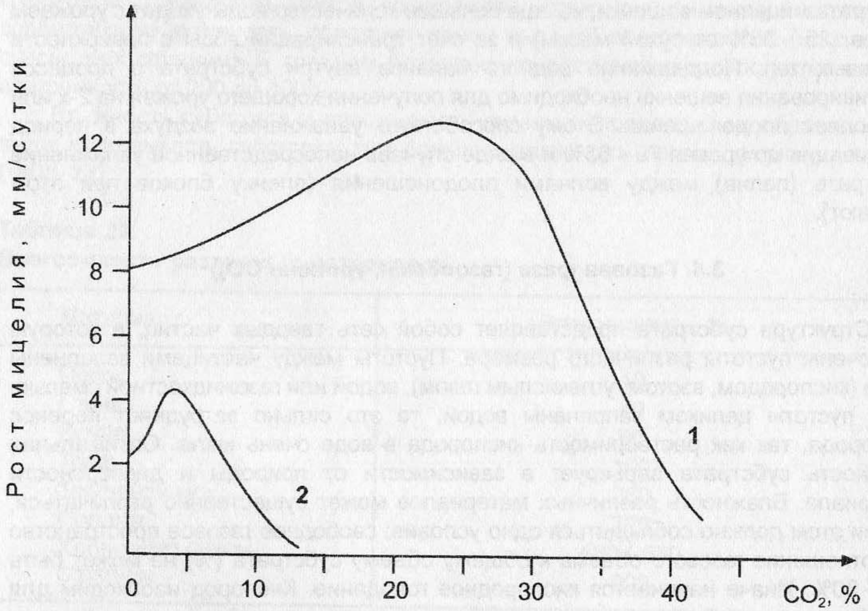
Вода необходима в процессе разрастания мицелия вешенки в субстрате и в период плодоношения, так как питательные вещества для усвоения их мицелием должны растворяться в воде. При влажности субстрата менее 40% скорость биологических процессов резко падает. При слишком большой влажности пустоты в структуре субстрата заполняются водой, которая ограничивает доступ кислорода к мицелию. Некоторые материалы, например бумага, при намокании быстро теряют структурную устойчивость, слипаясь в однородную массу. Однако большинство растительных материалов, например солома, устойчивы структурно к высокой влажности. Вода образуется в продукционном блоке в значительном количестве (до 20% от сухой массы) за счет гидролиза питательных веществ субстрата мицелием вешенки, но еще большее количество воды уходит с урожаем грибов (25 - 35% от сухой массы) и за счет транспирации воды с поверхности плодовых тел. Поддержание водного баланса внутри субстрата в процессе культивирования вешенки необходимо для получения хорошего урожая на 2-х или 3-х волнах плодоношения. Этому способствует увлажнение воздуха в период культивации до уровня 70 - 85% и в ряде случаев непосредственное увлажнение субстрата (полив) между волнами плодоношения (пленку блоков при этом снимают).

3.4. Газовая фаза (газообмен, уровень CO_2)

Структура субстрата представляет собой сеть твердых частиц, в которую заключены пустоты различного размера. Пустоты между частицами заполнены газом (кислородом, азотом, углекислым газом), водой или газожидкостной смесью. Если пустоты целиком заполнены водой, то это сильно затрудняет перенос кислорода, так как растворимость кислорода в воде очень мала. Оптимальная влажность субстрата варьирует в зависимости от природы и дисперсности материала. Влажность различных материалов может существенно различаться, но при этом должно соблюдаться одно условие: свободное газовое пространство или отношение газового объема к общему объему субстрата (%) не может быть ниже 30%. Иначе начинается кислородное голодание. Кислород необходим для метаболизма аэробных организмов и, в частности, вешенки. Аэрация в субстрате осуществляется за счет естественной диффузии через макроперфорацию. Естественной диффузии часто оказывается недостаточно, когда объем субстратного блока слишком велик (диаметр блока более 30см). Аэрация не только поставляет кислород, но и удаляет CO_2 и часть воды, образующейся в результате жизнедеятельности микроорганизмов и мицелия вешенки ("биологическая вода"), а также отводит теплоту благодаря испарительному охлаждению (теплопереносу).

При естественной аэрации (диффузионной) центральные участки субстратного блока могут оказаться в условиях анаэробиозиса, поэтому в ряде технологий, где используют массивные блоки субстрата, в центре блока устанавливают трубопроводы с перфорацией, через которую может поступать свежий воздух или вода.

Оптимальные условия для развития мицелия вешенки создаются при достаточно умеренном уплотнении субстрата (плотность 0.35-0.45), что способствует ограничению аэрации и накоплению в массе субстрата углекислого газа. Как было показано исследованиями, углекислый газ стимулирует рост мицелия вешенки вплоть до концентрации в 220000 ppm (!) или 22%. Такая особенность развития мицелия характерна для всех видов вешенки и многих древоразрушающих грибов, развивающихся в древесном плотном материале, где газообмен сильно ограничен. Сапротрофные грибы, развивающиеся в природе на рыхлых материалах (подстилочные, гумусовые сапротрофы), например, различные виды шампиньонов (Agaricus spp.) приспособлены к условиям хорошего газообмена и их рост ингибируется уже при концентрации CO_2 - 30000 ppm (3%) - рис. 6.



1 - Pleurotus ostreatus (вешенка)
2 - Agaricus bisporus (шампиньон)

Рис. 6. Влияние концентрации CO_2 на рост мицелия съедобных грибов

Высокий уровень CO_2 в субстрате создает селективные условия для развития мицелия вешенки и тормозит развитие многих конкурентных организмов. При высокой концентрации CO_2 полностью подавляется способность мицелия триходермы образовывать мутовки и споры, т.е. спорообразование прекращается, и возможность распространения инфекции резко снижается. Однако накопление CO_2 свыше 30% тормозит развитие мицелия и может вызвать его гибель или способствовать бурному развитию конкурентных микроорганизмов.

3.5. Оптимизация физических свойств субстрата.

Оптимизацию физических свойств субстрата можно проводить по различным параметрам, например, по структуре, влагоемкости, плотности, аэрации, размерам и массе субстратного блока, площади перфорации пленочного покрытия блока и т.д.

Каждый растительный субстрат имеет свои особенности. Соломистые субстраты отличаются хорошей структурированностью, аэрацией, достаточной влагоемкостью. Пример расчета оптимальной плотности соломистого субстрата дан в табл. 24. Наиболее приемлемая плотность субстрата - 0,4 кг/л. В этом случае в субстрате поддерживается достаточно высокая плотность и свободное газовое пространство превышает 30%, что создает хорошую аэрацию. Более высокая плотность субстрата (0,5 кг/л) существенно снижает аэрацию (газовое пространство меньше 30%). С другой стороны слишком низкая плотность (≤ 0,3 кг/л) не позволяет сформироваться крепкому блоку и не создает условий для накопления в субстрате высокого уровня CO_2, стимулирующего рост мицелия вешенки.

В ряде случаев оптимизации физических свойств можно достичь при сочетании различных типов растительного сырья. Например, костра льна имеет хорошую структуру, но малую влагоемкость. Бумага или очесы хлопка имеют хорошую влагоемкость, но плохую структуру. Их сочетание позволяет улучшить физические свойства субстрата. Другой пример - это опилки и щепа. Опилки имеют хорошую влагоемкость, но слишком мелкую структуру. Щепа имеет хорошую структуру, но малую влагоемкость. Их сочетание дает субстрат с хорошими физическими свойствами.

Таблица 24.
Физические параметры соломистого субстрата

Показатели	Плотность субстрата (при влажности 75%)		
	0.3	0.4	0.5
Объем субстрата, $V_{об.}$	1 м³	1 м³	1 м³
Масса субстрата, $m_с$	300 кг	400 кг	500 кг
Масса сухого вещества, $m_{с.в.}$	75 кг	100 кг	125 кг
Масса воды, $m_в$	225 кг	300 кг	375 кг
Объем твердой фазы, $V_{т.ф.}$	0.25м³	0.33м³	0.42м³
Объем воды, $V_в$	0.225м³	0.300м³	0.375м³
Газовый объем, $V_{газ}=V_{об}-(V_в+V_{т.ф.})$	0.525м³	0.37м³	0.225м³
Своб. газовое пространство, СГП=$V_{газ}/V_{об}\cdot100\%$)	52.5%	37%	22.5%

4. БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Введение.

Исходное сырье для приготовления субстратов содержит свою собственную эндогенную микрофлору и микрофауну. При увлажнении сырья активность организмов возрастает. Микроорганизмы потребляют кислород, воду, питательные органические вещества субстрата, а также минеральные элементы. Искусство приготовления субстрата состоит в сохранении полезной микрофлоры и даже увеличении ее численности и в уничтожении или дезактивации вредных организмов. Основные группы организмов, встречающиеся в растительном сырье, представлены в табл. 25.

Таблица 25.
Основные группы организмов, встречающиеся в растительных субстратах

Группа	Представители	Описание
Микрофлора	Бактерии	Множество форм: кокки, палочки, нитчатые. Размер 1-8мкм.
	Актиномицеты	Тонкий разветвленный мицелий. Размер 0.5-20 мкм.
	Грибы, дрожжи	Мицелий и споры. Размер спор 3-50 мкм. Множество видов, в т.ч. конкурентные плесени.
	Водоросли	Нитчатые формы.Размеры 10-100 мкм.
	Вирусы	Живут в бактериях, актиномицетах, грибах. Размер 0,1 мкм.
Микрофауна	Простейшие	Форма: одноклетрчные со жгутиками или ресничками. Размер 5-80 мкм.
	Нематоды	Круглые черви: 50-1000 мкм.
Макрофлора	Высшие грибы (макромицеты)	Образуют мицелий и плодовые тела (размер 10-40 мм) - гриб навозник
Макрофауна	Клещи Мухи, комарики Муравьи, жуки, пауки, ногохвостки и др.	Размер 0,1 - 2 мм. Личинки. Размер 0,1-2 мм. Личинки, взрослые особи. Размер 1-20 мм.

Биологические свойства субстратов имеют особое значение для нестерильных технологий культивирования вешенки, когда значительная часть организмов субстрата сохраняется после пастеризации. Чем сильнее термическая обработка, тем меньшее число организмов выживает, в том числе и полезных, которые обеспечивают селективность субстрата. Селективность субстрата - одно из важнейших биологических свойств, определяемое химическим составом сырья и активностью полезной микрофлоры.

Биологические свойства субстрата тесно связаны с его химическими и физическими свойствами и в совокупности определяют конечный результат - высокую продуктивность культуры вешенки.

4.1. Инфицированность сырья.

Культивируемые растения в период вегетации подвергаются инфицированию разнообразных микроорганизмов. Среди них можно обозначить несколько групп (рис. 7):

Паразитические или фитопатогенные грибы и бактерии. Например: ржавчина пшеницы, головня пшеницы, мучистая роса, бактериальная пятнистость и т.п.

Эпифитная микрофлора - обычно непатогенные грибы и бактерии, питающиеся поверхностными выделениями на листьях растений.

Сапротрофная микрофлора - бактерии и грибы, питающиеся мертвым органическим веществом. К этой группе относится большинство конкурентных вешенке организмов: плесневые грибы (Trichoderma, Aspergillus, Penicillium и т.п.) и бактерии (Pseudomonas и др.).

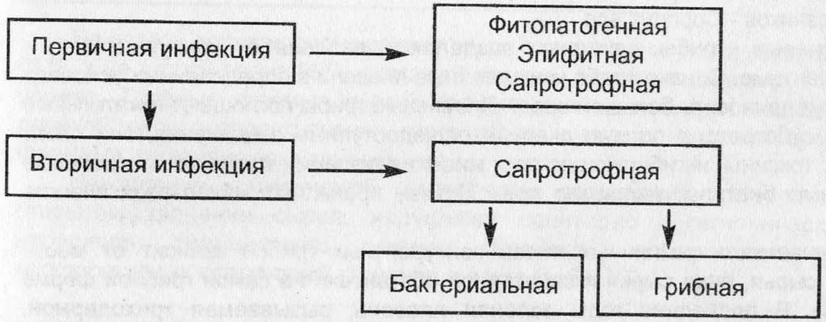


Рис. 7. Инфицированность сырья.

Многие представители микроскопических грибов, обитающих в почве, в зоне ризосферы способны разрушать клетчатку (целлюлозу): Chaetomium globosum, Trichoderma lignorum, Cladosporium herbarum, Fusarium, Aspergillus, Mucor. Некоторые представители низших грибов (дейтеромицеты) способны также частично разлагать лигнин: Alternaria, Aspergillus, Trichoderma, Gilmaniella.

Микроскопические грибы размножаются обычно бесполым путем, образуя огромное количество спор. Мелкие споры грибов могут переноситься воздухом на большие расстояния. Количество спор грибов в воздухе может достигать десятков и сотен тысяч в 1 м^3.

Первичная инфекция - это сумма микроорганизмов, которые находятся на субстрате в период его заготовки и складирования.

Вторичная инфекция - развивается при неправильном хранении сырья (попадание влаги) или контакте сырья с отселектированной на грибной ферме микрофлорой (наиболее часто возникающие плесневые инфекции).

Таким образом, источником инфекции может быть окружающая среда, субстрат, помещения фермы, отработанный инфицированный субстрат. Необходимо принимать соответствующие меры против перекрестного инфицирования.

4.2. Конкурентная микрофлора.

Конкурентная микрофлора представлена двумя группами организмов: 1) бактерии; 2) грибы. Бактерии выделяют токсичные метаболиты, которые ингибируют рост мицелия вешенки. В блоках инокулированного субстрата такие зоны обычно хорошо видны, особенно на фоне белого заросшего мицелием вешенки субстрата: это достаточно четко отграниченные темного цвета зоны. Бактериальная инфекция часто встречается при выращивании мицелия вешенки на зерновом субстрате. В этом случае бактериоз проявляется также в виде отдельных, не зарастающих мицелием вешенки зон, зерно осклизлое и неприятно пахнущее. Бактериозы появляются в случае переувлажнения субстрата, недостаточной термообработке или несоблюдении оптимального температурного режима инкубации субстрата.

Конкурентные грибы представлены в основном низшими грибами - плесенями, однако, встречаются и представители высших, шляпочных грибов - это виды навозников - Coprinus spp.

Плесневые грибы условно разделяют на слабо конкурентные и сильнокурентные. Однако слабо конкурентные плесени в определенных условиях также могут приносить большой вред. Плесневые грибы поглощают питательные вещества субстрата, в первую очередь легкодоступные соединения, они также выделяют токсины, ингибирующие рост мицелия вешенки, кроме того, отдельные агрессивные биотипы, например триходермы, проявляют микопаразитические свойства.

Встречаемость различных видов конкурентных грибов зависит от места заготовки сырья, вида сырья и санитарной обстановки на самой грибной ферме (табл. 26). В последние годы зеленая плесень, вызываемая триходермой, постоянно представляет опасность для грибоводческих ферм, выращивающих как вешенку, так и шампиньон. В Северной Америке распространен агрессивный штамм Trichoderma harzianum - Th-4, а в Европе - Th-2. В Канаде около 60% шампиньонниц инфицировано биотипом Th-4. Trichoderma harzianum (штамм Th-4) вызывает большие потери урожая вешенки на соломистом субстрате.

Таблица 26.
Конкурентные грибы на субстрате для культивирования вешенки.

Виды грибов	Частота обнаружения	Основные причины появления
Trichoderma spp. (зеленая плесень)	+ + +	Плохая пастеризация Температура в субстрате выше 30°С
Coprinus spp. (навозник)	+ + +	Избыток азота (C/N < 30) Температура в субстрате выше 30°С
Trichurus spirales (“волосатая” плесень)	+ + +	Плохая стерилизация
Neurospora sitophila (оранжевая плесень)	+ + + + + +	Стерилизация субстрата Часто источник - мицелий
Cladosporium spp. Arthrobotrys spp. Sclerotium spp.	+ + + + + +	Плохая пастеризация Наличие легкодоступных питательных веществ
Penicillium spp. Mucor spp. Aspergillus spp. Alternaria spp.	+ + + +	Плохая пастеризация Наличие легкодоступных питательных веществ

На первой волне плодоношения потери от зеленой плесени могут составлять 65%, а на второй волне 99% урожая. В среднем потери составляют 70% общего урожая. Грибные фермы, выращивающие и шампиньон, и вешенку, имеют двойной риск распространения этого агрессивного штамма по сравнению с фермами, культивирующими один вид.

Накопление конкурентной микрофлоры происходит при неправильном, открытом хранении сырья, нарушении санитарно гигиенических норм, нарушении термического режима обработки, избыточном количестве легкодоступных соединений углерода и азота (табл. 27).

Таблица 27.
Конкурентная микрофлора.

Группа	Причина накопления	Меры борьбы
Слабо конкурентная: Alternaria Mucor Fusarium Aspergillus Coprinus Penicillium **Сильно конкурентная:** Trichoderma Gilmaniella Neurospora	1. Заготовка увлажненного (непросушенного) сырья. 2. Неправильное хранение сырья (открытое). 3. Нарушение термического режима обработки (недостаточная экспозиция или температура) 4. Неправильная композиция субстрата (избыток легкодоступных соединений азота и углерода) 5. Нарушение санитарно-гигиенических норм. 6. Высокая первичная инфицированность.	1. Заготовка сухого сырья в сухую погоду. 2. Хранение сырья в закрытом помещении. 3. Соблюдение температурного режима обработки и достаточная экспозиция. 4. Коррекция состава субстрата, уменьшение содержания легкодоступных веществ (промывка в воде, длительная фильтрация) 5. Удаление органических остатков, изоляция камер от наружной среды, регулярная дезинфекция. 6. Снижение инфицированности сырья: промывка водой, качественная термообработка, внесение фунгицидов (фундазол 25 - 100 ppm)

Обследование грибных ферм показало, что накопление агрессивной конкурентной микрофлоры начинается сразу же после начала работы фермы. Фактически грибоводческая ферма является новой открытой нишей для развития конкурентных организмов. Здесь есть все: тепло, влага, питание. Поэтому борьба с инфекцией должна быть на ферме постоянной и жесткой. Инфекционные споры (пропагулы) триходермы обнаруживаются практические во всех местах инфицированной фермы (табл. 28). Концентрация спор триходермы выше в производственной зоне, где они переносятся с механизмами, персоналом или органическими остатками. На многих фермах для отдельных операций создают специальные рабочие группы, которые не пересекаются в течение рабочего дня, например группа сборщиков грибов и группа посева мицелия и фасовки субстрата. Органические отходы, почва, пыль и вода на дорогах - могут быть резервуарами триходермы (табл. 29). Основная стратегия контроля развития триходермы на ферме - ограничение, локализация мест развития плесени и предотвращение ее распространения. Меры борьбы - это в основном профилактика в виде регулярных санитарно - гигиенических мероприятий.

Таблица 28.
Распределение триходермы на ферме (процент проб с биотипом Th-4)

Строение фермы	Чистая зона	Грязная зона
Внутри строений	16,2	35,4
Снаружи строений	1,8	14,3

Таблица 29.
Источники инфицирования триходермой

Материал на ферме	Процент проб с биотипом Th-4
Почва, грязь	30,8
Вода (лужи)	20,0
Органические отходы	14,3
Воздух	13,8
Пыль, сажа	12,5
Исходное сырье	0

4.3. Полезная микрофлора.

. Субстраты несут в себе как вредную (конкурентную или патогенную) микрофлору, так и полезную. Микроорганизмы, обеспечивающие нормальное развитие мицелия вешенки в присутствии конкурентной микрофлоры пока еще недостаточно изучены. Известно, что они относятся к группе термофильных бактерий рода Bacillus.

Все микроорганизмы можно разделить на группы по отношению к оптимальной температуре их развития (табл. 30). Это психрофилы, мезофилы и термофилы. Вешенка относится к умеренным мезофилам - оптимум развития мицелия от 20 до 30°С. Большинство конкурентных плесеней относятся к экстремальным мезофилам: оптимум развития мицелия при температуре от 30 до 45°С.

Таблица 30.
Распределение микроорганизмов по отношению к температуре

Группа	Подгруппа	Температура (°С)
Психрофилы	Облигатные	0 - 10°
	мезо-толерантные	10 - 20°
Мезофилы	умеренные	20 - 30°
	экстремальные	30 - 45°
Термофилы	термотолерантные	45 - 55°
	облигатные	55 - 80°

Полезная микрофлора, антагонистичная конкурентным организмам, относится к термофилам. Наиболее изучены термофильные микроорганизмы шампиньонного компоста. Они представлены тремя группами организмов: бактериями, актиномицетами и грибами (табл. 31). Оптимальный интервал температур для их развития 45 - 55°С. Такой температурный режим устанавливают после пастеризации компоста в фазе кондиционирования. В отличие от бактерий, которые развиваются очень быстро (за 24 часа их количество при оптимальных условиях увеличивается в 300000 раз), развитие актиномицетов и грибов требует нескольких суток. Процесс обработки субстрата для культивирования вешенки обычно кратковременный (от 24 до 72 часов) и единственная возможность микробиологической защиты субстрата реализуется за счет термофильных бактерий. При пастеризации субстрата большая часть термофильной микрофлоры не активна, лишь некоторые виды продолжают развиваться при температуре выше 65^{0}С (табл. 32).

Таблица 31.
Оптимальная температура для развития термофильных микроорганизмов

Группа		Температура, ^{0}С
Бактерии:	Bacillus subtilis Bacillus pumilus	45-55
Актиномицеты:	Nocardia Streptomyces Thermoactinomyces	35-55
Грибы:	Aspergillus Humicola Stibella	35-55

Таблица 32.
Время выживания термофильных грибов при различных режимах пастеризации, часы

Наименование	Температура пастеризации		
	60^0	65^0	68^0
Chaetomium thermophile	30	0	0
Humicola insoleus	30	3	0
Mucor pusillus	48	4	0,5
Stibella thermophila	2	0	0
Humicola lanuginosa	240	4	0,5
Talaromyces thermophilus	240	1	0

w
часы

4.4. Селективность.

При культивировании съедобных грибов на лигноцеллюлозных субстратах конкурентные микроорганизмы часто вызывают серьезное снижение урожая. В естественных условиях ксилотрофные грибы и, в частности вешенка, растут в плотной древесине, развиваясь в ней достаточно медленно. При интенсивном культивировании вешенки используют рыхлые субстраты, такие как опилки, измельченная кора или солома зерновых культур.

На этих субстратах мицелий вешенки вступает в конкуренцию за питание с быстро растущими плесенями. Наиболее агрессивными конкурентами на соломе показали себя виды Trichoderma (Tr. harzianium, Tr. hamatum и др.) и Gilmaniella humicola.

Так как полная стерилизация соломы и культивирование в стерильных условиях экономически невыгодно при промышленном производстве грибов вешенки, возникает необходимость получения селективного субстрата, который бы способствовал росту мицелия съедобного гриба, и в то же время тормозил развитие конкурентных микроорганизмов. Разница в пищевых потребностях большинства съедобных грибов и плесеней позволяет достичь необходимого уровня селективности субстратов.

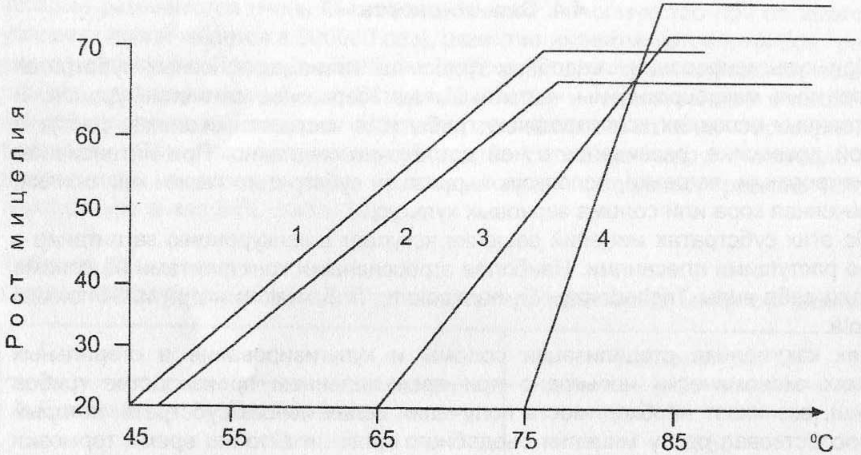
Развитие плесеней зависит от наличия легкодоступных источников азотного и углеродного питания, в тоже время ксилотрофные грибы способны разрушать сложные труднодоступные лигноцеллюлозные комплексы соломы. Обработка субстрата при высокой температуре вызывает гидролиз растительных полисахаридов и появление свободных легкоусвояемых сахаров, которые способствуют размножению конкурентных плесеней. w

Селективный субстрат, тормозящий развитие плесеней и благоприятствующий росту мицелия вешенки, получают при обработке умеренной температурой 65 - 70^{0}С. Повышение температуры обработки до 75 - 85^0 приводит к стимуляции развития плесеней типа Gilmaniella, Trichoderma, Fusarium, Mucor (рис. 8), если обработка достаточно длительная.

!!! Важна не только температура обработки субстрата, но и время обработки. Пастеризация при 65^{0}С в течение 6 - 10 часов усиливает рост Trichoderma hamatum, а в течение 12 - 16 часов - рост Gilmaniella humicola (рис. 9).

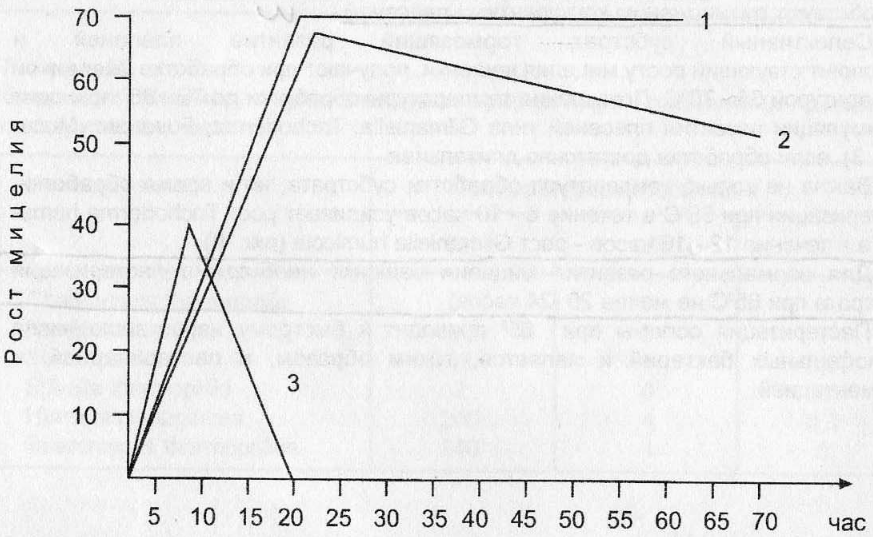
Для нормального развития мицелия вешенки необходима пастеризация субстрата при 65^{0}С не менее 20 -24 часов. !!!

Пастеризация соломы при 65^0 приводит к быстрому нарастанию числа термофильных бактерий и является, таким образом, и пастеризацией, и ферментацией.



1 - Pleurotus ostreatus
2 - Gilmaniella humicola
3 - Fusarium, Mucor
4 - Trichoderma hamatum

Рис. 8. Влияние температурной обработки на развитие конкурентных плесеней и мицелия вешенки, длительность обработки - 24 часа.



1 - Pleurotus ostreatus, 2 - Gilmaniella humicola, 3 - Trichoderma hamatum

Рис. 9. Влияние длительности пастеризации (65°C) на рост мицелия вешенки и конкурентной плесени.

По некоторым данным ряд культур бактерий Bacillus subtilus, изолированных с соломы, ингибировал рост плесеней, не влияя на рост мицелия вешенки.

S. Stolzer и K. Grabbe изолировали 119 культур бактерий и актиномицетов из ферментатированной соломы и протестировали их на антагонизм к различным плесеням. Было собрано 15 активных культур Bacillus. Культуры выращивали на жидкой среде (10г мелассы/л, pH - 7,0) при 25°C и затем смешивали с соломой. Солому ферментировали при 45°C различное время и затем засевали спорами плесеней или культурой вешенки. Бактериальные культуры разделились на 2 группы. 1-ая группа объединяла представителей Bacillus subtilis и вызывала ингибирование роста как мицелия вешенки, так и плесеней. 2-ая группа включала представителей вида Bacillus pumilus, которые тормозили рост мицелия плесеней (Trichoderma, Mucor, Fusarium, Gilmaniella), но не влияли на развитие мицелия вешенки.

После ферментации соломы при 45°C в течение 72 часов с наиболее активным штаммом Bacillus pumilus субстрат был практически полностью защищен от разных видов плесеней (табл. 33).

Таблица 33.
Влияние ферментации субстрата с термофильными бактериями B. pumilus на развитие конкурентных плесеней (ферментация 72 часа при 45°C).

Культуры	Стерилизация субстрата 125°C, 1 час	Ферментация стерилизован. субстрата	Пастеризация субстрата 65°C, 24 часа	Ферментация пастеризов. субстрата
Pleurotus ostreatus	80*	70	85	85
Trichoderma hamatum	80	0	0	0
Gilmaniella humicola	80	40	60	20

* - Диаметр колонии на 14 сутки роста.

Биохимические механизмы селективности субстрата.

Первоначально считалось, что основой селективности субстрата при выращивании вешенки являются антибиотические вещества, выделяемые в период ферментации бактериями из группы Bacillus subtilis. Однако более поздние исследования показали, что бактерии и их выделения не оказывают непосредственного влияния на рост мицелия плесневых грибов, следовательно, селективность субстрата определяется другими факторами.

Получение селективного субстрата для культивирования съедобных грибов возможно потому, что многие ксилотрофные грибы, и в частности вешенка, способны ферментативно разрушать лигноцеллюлозный комплекс соломы. В то же время развитие конкурентных плесеней зависит от присутствия легкодоступных соединений углерода и азота. Плесени рода Trichoderma, в отличие от других конкурентных плесеней, способны разрушать еще и целлюлозу из лигноцеллюлозного комплекса. Однако Trichoderma не растет на термически необработанной соломе (см. рис. 9) что, видимо, обусловлено экранирующей ролью лигнина, покрывающего волокна целлюлозы. При высокотемпературной обработке субстрата лигноцеллюлозные связи частично разрушаются (делигнификация), и целлюлоза становится доступной для ферментативного гидролиза Trichoderma hamatum.

Конкурентная плесень Gilmaniella humicola способна разрушать целлюлозу и обладает фенолоксидазной активностью, что обеспечивает определенную лигнолитическую активность. Кроме того, этот гриб способен расти при щелочном pH. Все это усугубляет трудности в борьбе с этой плесенью, которая имеет очень близкие характеристики с Pleurotus ostreatus.

Селективность субстрата можно объяснить с точки зрения содержания легкодоступных сахаров. Высокотемпературная обработка субстрата приводит к химическому гидролизу полисахаридов и накоплению растворимых сахаров (табл. 34). Однако при пастеризации соломы при 65°С развивающиеся в субстрате термофильные бактерии группы Bacillus утилизируют практические все растворимые формы сахаров, не оставляя ничего для конкурентных вешенке плесеней (табл. 35). В процессе ферментации происходит также подщелачивание субстрата и утилизация легкодоступных форм азота (аммонийного). Для развития в субстрате плесени Trichoderma hamatum необходимо сочетание нескольких факторов: слабокислый pH, повышенное содержание растворимых легкодоступных форм азота и сахаров (табл. 36).

Таблица 34.
Содержание растворимых сахаров в соломе после различной обработки.

Обработка	ppm глюкозы
Необработанная	1500
65°, 4 часа	1820
65°, 24 часа	0 (!)
85°, 24 часа	2330

Таблица 35.
Влияние пастеризации на pH субстрата и содержание в нем растворимых сахаров и аммония.

Время обработки, часы	Пастеризация, 65°С		
	pH	глюкоза, ppm	NH_4, ppm
0	7,6	1500	246
24	8,8	0	106
48	8,3	0	75
72	8,4	0	100

Таблица 36. Рост Trichoderma hamatum на питательной среде (экстракт ферментированной соломы).

pH	мм*	NH_4NO_3,г/л	мм	Глюкоза	мм
8,5	0	0	0	0	0
7,0	12	1	28	1	36
6,0	35	2	30	3	44
5,0	75	3	32	5	52

*Диаметр колонии на 3-и сутки роста.

Ферментация должна быть проведена таким образом, чтобы легкодоступные вещества полностью были утилизированы бактериальной микрофлорой и остановлена в момент, пока еще не началось разрушение основы субстрата - лигноцеллюлозного комплекса. Чрезмерное удлинение процесса обработки субстрата ухудшает не только физические, но и питательные свойства субстрата.

4.5. Влияние термообработки на микроорганизмы субстрата.

Термическая обработка субстрата проводится с целью уничтожения конкурентных микроорганизмов, а также вредителей (насекомые, клещи и т.п.).

Наиболее чувствительны к термическому воздействию психрофилы и мезофилы, наиболее устойчивы - термофилы. В первую очередь, термическая обработка уничтожает вредителей и вегетативные формы (мицелий) микроорганизмов. Споры микроорганизмов обладают повышенной термостойкостью, особенно споры термофильных бактерий (табл. 37).

Мягкая термообработка (60 - 65°С) по сути, не является только пастеризацией, так как при этой температуре могут свободно существовать и размножаться бактерии, относящиеся к облигатным термофилам. На самом деле этот режим является режимом ферментации для облигатных термофилов. Наиболее хорошие результаты показывает термообработка (ферментация) при 65°С в течение 24 - 48 часов. За 24 часа при 65°С в субстрате развивается достаточное количество бактерий, которые полностью утилизируют свободные сахара и создают высокий уровень селективности. Дополнительная ферментация субстрата при температуре 45 - 55° в течение 24 - 72 часов способствует развитию группы термотолерантных термофильных бактерий, которые в еще большей степени усиливают селективность субстрата и обеспечивают надежную микробиологическую защиту от конкурентных плесневых грибов.

Умеренная термообработка (70 - 90°С) уже является пастеризацией, так как уничтожает все вегетативные формы микроорганизмов и сохраняет часть споровых форм мезофилов и термофилов. Умеренная термообработка сохраняет еще некоторый уровень селективности субстрата, так как популяция термофилов достаточно быстро восстанавливается после обработки.

Жесткая термообработка (100 - 125°С) при достаточной экспозиции не только пастеризует субстрат (уничтожение вегетативных форм), но и убивает споры микроорганизмов, в том числе и термофильных бактерий. Такой субстрат становится стерильным и полностью теряет селективность. На нем одинаково хорошо растет мицелий вешенки, и прекрасно развиваются конкурентные плесневые грибы. Поэтому инокуляцию стерильного субстрата проводят в стерильных условиях и используют стерильный, неперетаренный мицелий.

Таблица 37.
Влияние термообработки на микрофлору субстрата.

Тип термообработки	Режим, °С	Споры бактерий	Споры грибов	Вегет. формы
Мягкая	60 - 65	+	+	+
Умеренная	70 - 90	+	+	-
Жесткая	100-125	-	-	-

Влияние температуры обработки на селективность.

Термообработка субстрата вызывает ряд химических реакций, снижающих его селективность. Во-первых, происходит термический гидролиз полисахаридов и высвобождение легкодоступных сахаров, служащих хорошим питанием для конкурентов. Во-вторых, происходит делигнификация лигноцеллюлозного комплекса субстрата. В результате, целлюлоза и гемицеллюлоза становятся доступными для конкурентных плесневых грибов, типа триходермы, обладающих заметной целлюлазной активностью. При высокотемпературной обработке лигноцеллюлозные связи частично разрушаются и тем больше, чем сильнее обработка. Даже умеренная, но длительная термообработка приводит к развитию на субстрате конкурентных плесеней. Различные способы обработки оказывают как положительное, так и отрицательное воздействие на селективность субстрата (табл. 38).

Табл. 38.
Влияние термообработки на селективность.

Тип обработки	Температурный режим, °С	Экспозиция, часы	Селективность
Стерилизация жесткая	120 - 130	1 - 3	-
Стерилизация мягкая	100 - 103	8 - 16	-
Пастеризация жесткая	90 - 100	1 - 4	+
Пастеризация умеренная	70 - 80	8 - 12	+
Пастеризация - ферментация	60 - 65	24 - 48	+ +
Ферментация	45 - 55	48 - 72	+ + +

5. ПИТАТЕЛЬНЫЕ ДОБАВКИ

5.1. Химический состав.

Растительное сырье, используемое в качестве основы субстрата, содержит часто недостаточное количество питательных элементов (N, P, K и др.) для формирования высокого урожая вешенки. С целью повышения питательности субстрата в него вносят белковые или белково-жировые добавки. Для обогащения субстратов питательными веществами можно использовать широкий спектр природных материалов. Для большинства питательных добавок характерен низкий уровень клетчатки (целлюлозы), высокий уровень белка и общего азота, доступных углеводов, жиров (табл. 39).

Многие питательные добавки содержат витамины и другие, биологически активные вещества, ускоряющие рост мицелия вешенки (отруби, травяная мука, соевая мука). Питательные добавки, содержащие легкодоступные соединения углерода и азота, снижают селективность субстрата. Поэтому применение питательных добавок требует от персонала грибной фермы поддержания высокого уровня санитарии и гигиены. Термическая обработка субстратов с питательной добавкой обычно несколько продлевается или вводится кондиционирование (ферментация) для утилизации легкодоступных соединений микрофлорой субстрата.

Таблица 39.
Химический состав питательных добавок, содержание в % от сухой массы.

Питательная добавка	Белок	Жиры	Клетчатка	Зола	$N_{общ.}$	P
Сено клевера	12,5	2,0	27	7,8	2,0	0,23
Сено люцерны	14,8	2,0	29	8,2	2,4	0,3
Травяная мука	21,2	2,8	26	12,0	3,4	0,3
Отруби пшеницы	16,9	4,6	9,6	6,1	2,7	1,2
Какавелла	15,4	4,0	16,5	10,3	2,5	0,6
Солодовые ростки	26,8	1,3	14,2	6,0	4,3	0,5
Пивная дробина	20,0	5,7	18,1	3,7	3,2	0,4
Мука семян люцерны	33,2	10,6	8,1	4,4	5,3	0,6
Соевая мука	47,9	6,7	2,4	6,0	7,7	0,7
Мука перьевая	72,0	3,5	-	9,0	12,0	0,7

5.2. Медленноразлагающиеся питательные добавки.

Впервые питательные добавки, специально разработанные для выращивания грибов, применили на шампиньонах. Натуральные питательные добавки, такие как соевая мука, гороховая мука, кровяная мука имели такой недостаток, как быстрая усвояемость микроорганизмами и мицелием шампиньона. Из-за этого в компосте резко поднималась температура и затрачивалось много энергии на охлаждение компоста. В Голландии были разработаны медленно разлагаемые питательные добавки на основе соевой муки, содержащие до 48% белка. Соевая мука обрабатывалась формальдегидом разной концентрации 3000ppm (препарат Милли Шамп 3000) или 6000ppm (препарат Милли Шамп 6000). Норма внесения Милли Шампа - 1кг препарата на 1 м^2 компостной гряды или, примерно, 1% от сырой массы компоста. Милли Шамп 3000 вносят перед нанесением покровной почвы. Прибавка урожая составляет до 40%*. Милли Шамп 6000 вносят во время засева мицелия. Прибавка урожая составляет до 20%.

Применение питательных добавок вызывает ряд проблем:

1) Возможно значительное повышение температуры субстрата;
2) Конкурентные организмы (плесени, клещи, нематоды) могут быстро размножиться при обильном питании;
3) Подкормка должна быть равномерно распределена в субстрате;
4) Повышение выделения CO_2 может ухудшить качество грибов на 1 волне плодоношения.

В настоящее время за рубежом выпускают большое количество различных концентрированных добавок: Spawn Mate, Fast Break, Calprozim и др.

5.3. Влияние питательных добавок на температуру субстрата.

Питательные добавки, содержащие легкодоступные углеводы, могут существенно повысить температуру субстрата в период инкубации. Максимальная температура в субстрате наблюдается на 4 - 5 день инкубации. Если температура субстрата превышает 35°С, то мицелий вешенки может погибнуть. Различные виды вешенки различаются по устойчивости к высокой температуре (табл. 40). Высокая температура стимулирует развитие конкурентных плесеней, имеющих оптимум роста мицелия при 35 - 40°С. Для вешенки оптимум роста мицелия составляет 25 - 30°С. При коммерческом выращивании вешенки стараются поддерживать в субстрате в период инкубации максимально возможную температуру 28 - 30°С.

Таблица 40.
Влияние температуры на жизнеспособность мицелия различных видов вешенки вешенки.

Виды	Инкубация при 40°С, часы			
	8	24	48	72
Pleurotus florida	+	+	+	-
Pleurotus ostreatus	+	+	-	-
Pleurotus eryngii	+	+	-	-

+ - культура жизнеспособна
- - культура погибла.

5.4. Внесение питательных добавок.

Норма внесения питательных добавок зависит от концентрации в них питательных элементов. Наиболее концентрированные добавки вносят в небольшом количестве (мука перьевая - 3%, соевая мука - 5%), менее концентрированные (отруби, какавелла, травяная мука) в количестве 5 - 15% или 10 - 20% (сено бобовых трав).

Питательные добавки вносят перед термообработкой субстрата и равномерно распределяют по массе субстрата. Если норма внесения добавки приводит к превышению температурного оптимума в субстрате, то можно снизить норму или усилить охлаждение субстрата.

5.5. Влияние питательных добавок на урожайность.

Питательные добавки существенно повышают урожайность вешенки. Некоторые виды вешенки вообще не плодоносят без питательной добавки (табл. 41).

Таблица 41.
Влияние питательных добавок на урожайность разных видов вешенки (биологическая активность, %).

Питательная добавка		Pleurotus ostreatus	Pleurotus fossulatus	Pleurotus eringii
Контроль	К	37	33	не плодоносит
Мука семян* хлопчатника	5%	47	45	31
	10%	48	46	32
Отруби риса*	10%	64	15	22
	20%	65	22	25
Пивная дробина	10%	45	21	20
	20%	44	43	73

*Все добавки были обработаны 2% раствором формальдегида в течение 4 часов.

Концентрированные, медленно разлагаемые добавки, применяемые для шампиньона, дали хороший эффект при выращивании вешенки (табл. 42), однако, если добавку вносили в высокой концентрации, то урожай резко снижался из-за превышения температурного оптимума в субстрате (термогенез) (табл. 43) и бурного развития конкурентных плесеней.

Отрицательные последствия применения питательных добавок могут быть уменьшены внесением фундазола, в этом случае урожайность вешенки может быть доведена до 200% биологической эффективности (рис.10).

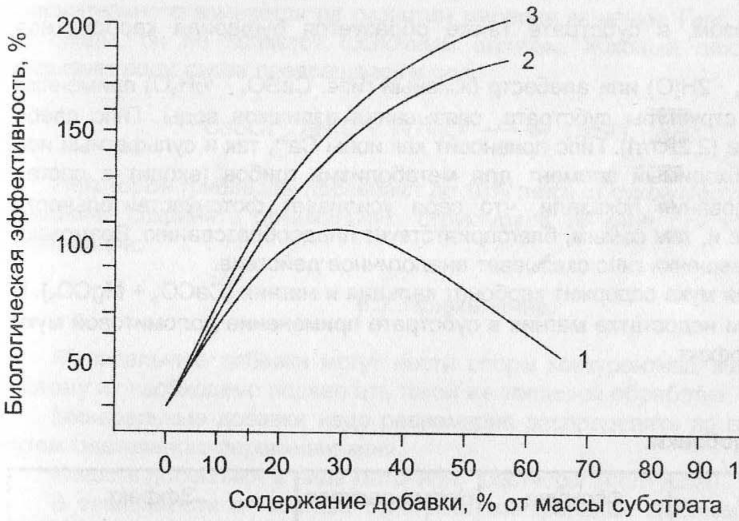
Таблица 42.
Применение концентрированных питательных добавок (урожайность в % от сырой массы субстрата).

P. ostreatus штамм	Контроль	Милли Шамп 0,5%	Кальпрозим 0,5%	Средняя прибавка (%)
3014	15,4	19,5	20,7	~ 30
3030	16,0	22,7	21,3	~ 37

Таблица 43.
Применение концентрированных питательных добавок, г/кг сухой массы субстрата.

Добавка 1	Добавка 2	Биологическая эффективность,%
80		41
	80	65
160	-	67
-	160	2,2*
80	80	78

* - температура в субстрате выше 30°С
Добавка 1 - Spawn Mate
Добавка 2 - Fast Break



1 - Субстрат, необработанный фундазолом.
2 - Субстрат обработан суспензией фундазола, 60 ppm.
3 - Субстрат замочен в суспензии фундазола, 30 ppm.

Рис. 10. Влияние фундазола на урожайность вешенки при различном уровне внесения питательной добавки Spawn Mate.

6. МИНЕРАЛЬНЫЕ ДОБАВКИ

6.1. Химический состав.

Все минеральные добавки содержат различные формы кальция (табл. 44).

Мел или карбонат кальция ($CaCO_3$) образует во влажном субстрате буферную карбонатную систему, которая удерживает pH субстрата на слабощелочном уровне 7,0 - 7,5. Мел в слабой степени подщелачивает среду.

Известь (негашеная - CaO; гашеная - $Ca(OH)_2$ является сильным щелочным агентом. pH среды при добавлении извести смещается до 9,0 - 10,0. Однако растворимость извести не очень высока и составляет 1,6 г/л или ~ 0,16%.

При взаимодействии извести с углекислым газом образуется мел:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O$$

Через некоторое время мел, взаимодействуя с углекислым газом, образует бикарбонат кальция:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

Таким образом, в субстрате также образуется буферная карбонатная система.

Гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) или алебастр (жженый гипс, $CaSO_4 \cdot {}^1/_2H_2O$) применяют для улучшения структуры субстрата, связывания излишков воды. Гипс слабо растворим в воде (2,25 г/л). Гипс привносит как ионы Ca^{2+}, так и сульфатный ион SO_4^{2-}. Сера необходимый элемент для метаболизма грибов (входит в состав белков). Исследования показали, что сера усиливает фоточувствительность мицелия шиитаке и, тем самым, благоприятствует плодообразованию. Возможно, что на мицелий вешенки гипс оказывает аналогичное действие.

Доломитовая мука содержит карбонат кальция и магния ($CaCO_3 + MgCO_3$). В ряде случаев при недостатке магния в субстрате применение доломитовой муки дает хороший эффект.

Таблица 44.
Минеральные добавки.

Наименование	Формула	Норма расхода	Эффект
Известь негашеная	CaO	0,2% - 2%	Подщелачивание
Известь гашеная	$Ca(OH)_2$	0,2%-2%	Усиление буферности субстрата
Мел (известняк)	$CaCO_3$	0,5-5%	Усиление буферности
Доломитовая мука	$CaCO_3+MgCO_3$	0,5-5%	Подщелачивание
Гипс, алебастр	$CaSO_4$	1-10%	Улучшение структуры Источник серы Усиливает фоточувствительность

6.2. Эффекты минеральных добавок.

В большинстве случаев субстрат для культивирования вешенки содержит в достаточном количестве все основные макро- и микроэлементы необходимые для развития мицелия и плодообразования. Рассмотренные выше минеральные добавки предназначены для создания следующих эффектов:

1) подщелачивания и усиления буферной емкости субстрата (по отношению к закислению);

2) улучшения структуры и состояния воды в субстрате (улучшается аэрация, связывается свободная вода).

Развитие конкурентных плесеней, таких как триходерма, связаны не только с наличием легкодоступных питательных веществ, но и благоприятным для их развития слабокислым pH. Защелачивание среды до pH 7,5 - 8,5 резко тормозит развитие мицелия триходермы. Мицелий вешенки разрастается с зернового носителя и поэтому устойчив к щелочной среде и может развиваться даже при pH 8,5 постепенно по мере колонизации, смещая pH в кислую сторону.

Улучшение структуры субстрата, повышение его аэрированности положительно сказывается на развитии мицелия вешенки. Гипс слабо изменяет pH среды, он не является щелочным агентом. Жженый гипс или алебастр связывает воду, снова превращаясь в гипс:

$$CaSO_4 \cdot {}^1/_2H_2O + 1{}^1/_2H_2O \longrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

Некоторые грибоводы добавляют до 10% гипса от сухой массы субстрата, что позволяет сохранять оптимальную структуру в течение длительного периода культивации.

6.3. Применение.

Минеральные добавки могут нести споры конкурентных микроорганизмов, поэтому их необходимо подвергать такой же тепловой обработке, как субстрат.

Минеральные добавки надо равномерно распределять по всему субстрату путем тщательного перемешивания.

Известь добавляют в виде маточного "раствора" (болтушки).

В зависимости от состава субстрата минеральные добавки могут давать хороший результат, либо не оказывать положительного действия.

Хранить минеральные добавки надо в сухом, чистом помещении с надлежащими санитарными условиями.

7. ПРИНЦИПЫ СОСТАВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИЙ СУБСТРАТОВ

7.1. Основные принципы.

Композиция субстрата должна удовлетворять химическим, физическим и биологическим потребностям вешенки.

Химический состав обеспечивает необходимыми питательными веществами: органическими и неорганическими.

Физические свойства - обеспечивают нормальные условия развития мицелия вешенки: аэрацию, влажность.

Биологические свойства - создают необходимую селективность субстрата и развитие полезной микрофлоры.

Для составления субстратной композиции необходимо хорошо знать свойства исходных компонентов. Вариантов субстратных смесей для вешенки очень много. Они разрабатываются в зависимости от местных условий, от имеющихся в распоряжении растительных отходов, от технологии подготовки субстрата и культивирования. Рассмотрим следующие основные варианты композиций:

Одноосновная: субстрат состоит только из основы, например, соломы или лузги подсолнечника;

Двухосновная: субстрат состоит из двух основных компонентов, например, солома + лузга подсолнечника;

Многокомпонентная:

а) солома - основа;
б) отруби пшеницы - питательная добавка;
в) мел (мел + гипс) - минеральная добавка;

Расширенная:

а) основа;
б) питательная добавка;
в) минеральная добавка;
г) защитная добавка (фундазол*, димилин**).

---

* Фундазол - это фунгицид, эффективно подавляющий развитие конкурентных плесеней.

** Димилин - это регулятор роста насекомых, ингибирующий синтез хитина и, соответственно, линьку личинок. Эффективен против личинок грибных мух и комариков.

7.2. Субстратные композиции.

Примеры двухосновных композиций даны в табл. 45, многокомпонентных в табл. 46, расширенной в табл. 47; пропись трехкомпонентной композиции субстрата на основе растительных отходов растениеводства в табл. 48. Составление композиции субстрата основывается на задаче улучшения физических и химических свойств (табл 49). Костра льна обладает хорошей аэрацией (структура), но плохой влагоемкостью. Бумага имеет хорошую влагоемкость, но очень плохую структуру (слипается в массу, аэрация недостаточная). Какавелла имеет хорошую питательность. Мел или известь смещают pH субстрата в нужную слабощелочную зону 7,0-8,0. В целом вся композиция субстрата имеет хорошие показатели по основным параметрам. Вместо бумаги можно использовать хлопковые очесы. Для биологической защиты в субстрат еще можно добавить фундазол (50 ppm) и димилин (25 ppm).

Таблица 45.
Двухосновные композиции субстрата.

Компоненты субстрата	Соотношение компонентов, части
Солома Лузга подсолнечника	1 1
Солома Кукурузные кочерыжки	1 1
Солома Опилки	2 1
Хлопковые очесы Лузга подсолнечника	2 1

Таблица 46. Многокомпонентные композиции субстрата, в % от массы субстрата.

Основа	Питательная добавка	Минеральная добавка
Солома 45 кочерыжки	Отруби пшеницы 5-10	Гипс/мел (4:1) 2-5
Лузга подсолнечника 90	Соевая мука 3-5	гипс 2-5 или мел 1-3
Опилки 30 Шелуха гречихи 60	Отруби 10 или пивная дробина 10	-
Солома 85	Травяная мука 10-15	мел 1-3
Опилки 45 Щепа 45	Отруби 10	мел 1-3 или известь 0,2-0,5
Хлопковые очесы 85	Какавелла 5	-
Костра льна 60-80 Бумага 10-20	Какавелла 10-20	мел 1-3
Костра льна 60 Бумага 20	Отруби 20	-
Хлопковые очесы 55 Лузга подсолнечника 20 Отходы спичек 10 Костра льна 10	Какавелла 5 или известь 0,2-0,5	мел 1-2

Таблица 47.
Расширенная композиция субстрата.

Компоненты	Характеристика
Основа	Солома (пшеница) 40% + лузга подсолнечника 40%
Питательная добавка	Соевая мука 3-5%, люцерна (травяная мука) 5-10%
Минеральная добавка	Известь + гипс = 50/50 = 2,5% по сух. массе субстрата
Защитная добавка	Фунгициды - бенлат (100ppm)
	Регуляторы роста насекомых - димилин (25ppm)
Субстратная смесь	Влажность - 70%
	Общий азот - 4%
Обработка	Пастеризация 75-80% = 8-10 часов

Таблица 48.
Композиция субстрата для культивирования вешенки (Stamets, 1993)

Компоненты	Состав	Содержание, %
Основа	Солома зерновых культур Кочерыжки кукурузы Лузга подсолнечника и т.п.	85-90
Питательная добавка	Отруби пшеницы, риса и т.п.	5-10
	Соевая мука	2-3
	Травяная мука	5-10
Минеральная добавка	Гипс + мел (4/1)	2-5

Таблица 49.
Подбор композиции субстрата.

Компоненты	Физические свойства		Химические свойства	
	Структура	Влагоемкость	Питательность	pH
Костра льна	+ + +	+	+	5,0
Бумага	+	+ + +	-	5,0
Какавелла	+	+	+ + +	5,0
Мел (известь)	-	-	-	7,0-8,0
Композиция целиком	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +

+ - плохая ++ - средняя +++ - хорошая

7.3. Показатели эффективности использования субстратов.

Вешенка - один из самых продуктивных видов культивируемых грибов. Даже на относительно бедных субстратах получают весьма высокий урожай грибов. Виды и штаммы вешенки различаются по способности конверсии субстрата в плодовые тела. Современные гибридные сорта вешенки обладают высокой продуктивностью и коротким циклом развития. Для оценки продуктивности вешенки используют несколько показателей.

Биологическая эффективность (БЭ%) - определяется отношением сырого веса плодовых тел к сухой массе субстрата

$$\text{БЭ\%} = \frac{M_{\text{пл.тела}}}{M_{\text{сух.суб.}}} \times 100\%$$

100% БЭ означает, что с 1кг сухого субстрата получают 1кг сырых грибов. Если субстрат имеет влажность 75%, то масса сырого субстрата составит 4 кг и выход грибов, соответственно, 25% от массы субстрата. Такой показатель называют продуктивностью (П%).

$$\text{П\%} = \frac{M_{\text{пл.тела}}}{M_{\text{влаж.суб.}}} \times 100\%$$

Этот показатель менее корректен, чем БЭ, так как субстрат может сильно различаться по влажности (65-80%). Иногда используют показатель - коэффициент конверсии (КК%) или выраженное в процентах отношение сухой массы грибов к сухой массе субстрата.

$$\text{КК\%} = \frac{M_{\text{сух.пл.тела}}}{M_{\text{сух.суб.}}} \times 100\%$$

Этот показатель используют преимущественно в научных исследованиях. Биологическая эффективность вешенки на различных субстратах колеблется от 30-50 до 150-200%. И это еще не предел. На хорошо сбалансированном субстрате возможен урожай до 300% БЭ. Однако этот результат можно получить только при использовании стерильной технологии. Для нестерильных технологий хорошим результатом считается БЭ на уровне 80-100%, а для природной экстенсивной технологии 40-60%.

8. ПЛАНИРОВАНИЕ УРОЖАЯ

8.1. Вынос элементов питания с урожаем.

В процессе выращивания вешенки происходит деструкция растительного субстрата. Около 40% сухой массы субстрата выносится с углекислым газом, 20% превращается в биологическую воду, 30% остается как отработанный субстрат и около 10% сухой массы субстрата выносится с урожаем плодовых тел вешенки (табл. 50). Зная химический состав исходного субстрата и отработанного субстрата можно определить вынос отдельных элементов питания с урожаем вешенки (табл. 51).

С другой стороны, зная состав субстрата и химический состав плодовых тел вешенки, можно также определить вынос отдельных элементов питания с урожаем (при определенной биологической эффективности) - табл. 52.

Если учитывать питательные элементы, привнесенные в субстрат с зерновым мицелием, то картина несколько изменится. В большинстве случаев для формирования хорошего урожая содержания макро- и микроэлементов в субстрате вполне хватает. Тем не менее, грибы содержат достаточно высокий уровень азота и фосфора, поэтому на количество этих элементов в субстрате надо обращать особое внимание. В некоторых ситуациях может сложиться дефицит по ряду микроэлементов. Отдельные микроэлементы играют особую роль в активации ферментов, разрушающих лигноцеллюлозный комплекс (Mn, Zn) и их добавляют в микроколичествах к субстрату, например $MnCl_2$ (Heltay, 1991).

Таблица 50.
Деструкция растительного субстрата при культивировании вешенки.

Компоненты	Углекислый газ	Биологическая вода	Отработанный субстрат	Плодовое тело вешенки
% от массы сухого вещества	40	20	30	10

Таблица 51
Вынос элементов питания из соломистого субстрата при БЭ - 100%.

Вариант	Масса, г на 1 кг сухой массы субстрата					
	Nобщ.	Зола	P	K	Ca	Mg
Исходный субстрат	6,0	63	1,6	10	2,6	0,5
Отработанный субстрат	2,3	52	0,32	3,3	0,88	0,30
Вынос элементов	3,7	11	1,28	6,7	1,72	0,2
% выноса	62	17	80	67	66	40

Таблица 52.
Вынос элементов питания из соломистого субстрата с урожаем вешенки (БЭ = 100%).

Вариант	Масса, г				
	$N_{общ.}$	P	K	Ca	Mg
Исходный субстрат*	6	1,6	10	2,6	0,5
Вешенка**	3,6	1,3	0,3	0,3	0,2
Вынос элементов с урожаем, %	60	81	3	11	40
Инокулированный субстрат***	9	2,5	10,4	2,7	0,8
Вынос элементов с урожаем, %	40	52	3	11	25

* - содержание элементов питания в рассчете на 1 кг сухой соломы;

** - содержание элементов питания в 1 кг сырых грибов вешенки;

*** - содержание элементов питания в субстрате, инокулированном 5% посевного зернового мицелия в рассчете на 1 кг сухой массы.

8.2. Планирование урожая

Вешенка очень пластичный вид, хорошо приспособленный к росту на широком спектре лигноцеллюлозных субстратов. Урожайность вешенки на отдельных видах субстрата варьирует в широком диапазоне и зависит от многих факторов: физических свойств субстрата, химического состава, качества обработки субстрата, качества мицелия, сорта и вида гриба, климатических условий в период выращивания.

Тем не менее, можно и нужно планировать урожай вешенки, опираясь на данные химического состава сырья и питательных добавок и составляя продуктивные композиции субстрата. Увеличение урожая за счет применения питательных добавок возможно только при строгом санитарно-гигиеническом режиме или включении в композицию субстрата защитной добавки (фундазол).

Если вести расчет урожая с 1 кг сухого вещества субстрата, то на каждый 0,1% общего азота мы можем рассчитывать получить 100-125 г сырых плодовых тел. Поэтому для достижения урожая в 100% БЭ субстрат должен содержать 0,8-1,0% общего азота.

На первом этапе лучше использовать простые, обедненные формулы субстрата, например, чистая солома или лузга. Затем можно комбинировать несколько основ и выявлять наиболее продуктивные варианты. Когда будет получен стабильный результат, можно постепенно вводить питательные добавки в количестве, обеспечивающем хороший урожай и приемлемый уровень развития конкурентной микрофлоры.

Также как в растениеводстве есть интенсивные сорта, хорошо откликающиеся на удобрения, у вешенки есть гибридные сорта (штаммы), реагирующие заметным повышением урожая на применение питательных добавок. Не следует увлекаться слишком высоким урожаем, так как за все приходится платить. Урожай на уровне 80-100% БЭ вполне соответствует современному уровню интенсивного грибоводства.

9. ПРИЛОЖЕНИЕ

Справочные таблицы

Таблица 1. Химический состав питательных добавок, % к сухой массе.

Материал	Белок	Жир	Целлюлоза	Безазотистые вещ-ва	Зола	P	N	K
Желудь дуба	3,2	10,7	9,9	25,0	1,2	-	0,51	-
Семена люцерны	33,2	10,6	8,1	32,0	4,4	-	5,31	-
Пектин яблочный	7,0	7,3	24,2	49,4	3,3	-	1,12	-
Сорго, зерно	11,3	3,3	2,0	70,6	1,9	-	1,81	-
Хлебные отходы	10,9	13,7	0,7	64,7	1,6	-	1,74	-
Ячмень, зерно	12,7	1,9	5,4	66,6	2,8	0,37	2,03	0,49
Ячмень осоломенный	12,7	2,1	5,4	70,9	2,3	0,42	2,03	0,37
Бобы	22,9	1,4	4,2	57,3	4,2	0,57	3,66	1,27
Фасоль	21,2	1,1	4,7	58,2	4,5	0,37	3,39	1,70
Свекольный жом	9,9	0,5	19,8	57,2	3,4	0,08	1,47	0,18
Кровяная мука	84,7	1,0	1,1	0,7	4,7	0,50	13,55	-
Костяная мука	26,0	5,0	1,0	2,5	59,1	10,22	4,16	-
Пивная дробина	27,6	6,5	14,3	40,9	3,6	0,48	4,42	0,10
Сорго веничное	9,2	3,7	5,1	69,1	2,6	-	1,47	-
Гречиха, зерно	10,3	2,3	10,7	62,3	1,9	0,31	1,64	0,45
Мука гречневая	10,2	2,1	0,9	73,4	1,5	0,09	1,63	0,16
Пахта	32,4	6,4	0,3	43,3	10,0	0,82	5,18	0,71
Нут	20,3	4,3	8,5	54,0	2,9	-	3,24	-
Какавелла	15,4	3,0	16,5	49,9	10,3	0,59	2,46	2,16
Кукуруза	8,8	4,0	2,1	70,9	1,2	0,28	1,41	0,28
Отруби кукурузы	9,7	7,3	9,2	62,0	2,4	0,27	1,56	0,56
Крахмал кукурузный	11,6	0,6	0,1	87,6	0,2	-	-	0,10
Семена хлопчатника	23,1	22,9	16,9	26,3	3,5	0,70	3,70	1,11
Мука семян хлопч.	57,0	7,2	2,1	21,6	6,5	-	9,12	-
Мука семян хлопч.	41,0	6,0	11,6	27,6	5,9	-	6,56	-
Зерно кук. (перегонка)	28,3	8,8	11,4	41,9	2,5	0,47	4,53	0,24
Зерно ржи (перегонка)	18,5	6,4	15,6	51,0	2,4	0,43	2,96	0,04
Зерно пш (перегонка)	28,7	6,1	13,0	42,2	3,7	-	4,59	-
Рыбная мука	63,9	6,8	0,6	4,0	17,6	2,67	10,22	0,40
Жмых семян льна	16,4	9,4	12,7	45,8	6,8	0,43	2,62	-
Жмых конопляный	31,0	6,2	23,8	22,0	9,0	0,43	4,96	-
Мамалыга (кук. крупа)	11,2	6,9	5,2	64,2	2,9	0,71	1,79	0,61
Конские бобы	25,7	1,4	8,2	48,8	3,4	0,54	4,11	1,16
Мука семян льна	35,4	5,8	8,2	36,0	5,6	0,87	5,66	1,24
Солодовый ячмень	14,3	1,6	1,8	70,6	2,3	0,47	2,29	-
Солодовые ростки	26,8	1,3	14,2	44,3	6,0	-	4,29	-
Отходы мясоком-тов	56,0	3,5	2,6	1,5	29,4	-	8,96	-
Сухое молоко	24,8	26,2	0,2	40,2	5,4	-	3,97	-
Просо	12,1	4,1	8,6	60,7	3,6	0,20	1,94	0,31
Меласса свеклы	8,4	0	0	62	10,1	0,02	1,34	4,77
Овес, зерно	16,3	6,1	2,1	63,7	2,2	0,46	2,61	0,39
Овсяная мука (дроб)	5,6	1,8	27,9	50,8	6,3	0,16	0,90	0,60
Гороховая мука	17,7	1,4	23,7	43,7	3,5	-	2,83	-
Скорлупки гороха	4,8	0,4	48,5	34,3	3,5	-	0,77	-
Арахиса мука	43,5	7,6	13,3	23,4	5,2	0,54	6,96	1,15
Шкурка арахиса	16,3	23,9	11,8	39,1	2,7	-	2,61	-
Мука картофельная	10,4	0,3	2,0	75,8	4,3	0,22	1,66	1,97
Виноградн. выжимки	20,4	43,6	6,6	15,7	4,2	-	3,26	-
Рисов. дробина (пиво)	7,5	0,6	0,6	78,8	0,8	0,10	1,20	-

Рис, зерно	9,1	2,0	1,1	74,5	1,1	0,25	1,46	-
Отруби риса	12,5	13,5	12,0	39,4	13,5	1,36	2,00	1,08
Рожь, зерно	12,6	1,7	2,4	70,9	1,9	0,33	2,02	0,47
Мука ржаная	11,2	1,3	0,6	74,6	0,9	0,28	1,8	0,46
Жмых кунжута	42,8	9,4	6,2	22,8	12,5	1,61	6,84	1,35
Соя, семена	37,9	18,0	5,0	24,5	4,6	0,59	6,06	1,50
Соевая мука	47,9	6,7	2,4	29,9	6,0	-	7,66	-
Подсолнечник, зерно	16,8	25,9	29,0	18,8	3,1	0,55	2,69	0,66
Подсолн семя цел.	27,7	41,4	6,3	16,3	3,8	0,96	4,43	0,92
Мякостная мука	51,3	11,5	2,3	2,3	26,1	5,14	8,21	-
Семена вики	29,6	0,8	5,7	51,5	3,1	-	4,74	-
Пшеница, зерно	13,2	1,9	2,6	69,9	1,9	0,39	2,11	0,42
Отруби пшеницы	16,9	4,6	9,6	52,9	6,1	1,29	2,70	1,23
Мука пшеницы	15,4	1,9	0,5	69,7	0,9	-	2,46	-
Молочная сыворотка	12,2	0,8	0,2	70,4	9,9	0,72	1,96	-
Пивные дрожжи	49,3	1,0	3,7	31,9	7,9	1,56	7,89	-

Таблица 2. Химический состав растительного сырья (основа), % к сухой массе.

Материал	Белок	Жир	Целлюлоза	Безазотистые вещ-ва	Зола	P	N	K
Сено люцерны	14,8	2,0	28,9	36,6	8,2	0,24	2,37	2,05
Солома люцерны	8,8	1,5	40,4	35,1	6,8	0,13	1,43	-
Сено ячменя	7,3	2,0	25,4	49,3	6,8	0,23	1,17	1,35
Солома ячменя	3,7	1,6	37,7	41,0	6,0	0,11	0,59	1,33
Фасоль (маш)	9,8	2,2	24	46,6	7,7	-	1,57	-
Солома фасоли	6,1	1,4	40,1	34,1	7,4	0,13	0,98	1,02
Полевица	6,6	3,0	42,8	6,6	6,6	0,18	1,06	1,42
Лядвенец	13,8	2,1	27,5	13,8	5,9	0,22	2,35	1,52
Мятлик	6,6	2,3	28,2	6,6	5,8	0,20	1,06	1,94
Костер	9,9	2,1	28,4	9,9	8,2	0,28	1,58	2,35
Сорго веничное	3,9	1,8	36,7	42,4	5,7	-	0,62	-
Шелуха гречихи	3,0	1,0	42,9	40,1	1,6	0,02	0,48	0,27
Солома гречихи	4,3	1,0	36,2	38,8	8,3	0,04	0,69	2,00
Трава зерновых	24,5	4,7	16,1	33,1	14,4	0,46	3,92	-
Сено клевера	12,1	2,1	27,0	39,9	7,8	0,23	1,94	2,44
Листья клевера	26,6	3,2	9,5	41,9	11,0	-	4,26	-
Стебли клевера	10,6	1,1	38,0	35,6	7,4	-	1,70	-
Кукурузн кочерыжка	2,3	0,4	32,1	54,0	1,6	0,02	0,37	0,37
Обертка початка	3,4	0,9	28,2	49,6	2,9	0,12	0,54	0,55
Листья кукурузы	7,7	1,9	23,9	42,6	6,7	0,10	1,23	0,36
Стебель кукурузы	4,7	1,5	28,0	43,3	5,3	0,09	0,75	0,50
Коробочки хлопка	8,7	2,4	30,8	42,0	6,9	0,09	1,39	3,18
Листья хлопка	15,3	6,8	10,3	43,5	15,8	0,18	2,45	1,36
Стебли хлопка	5,8	0,9	44,0	37,5	4,2	-	0,93	-
Оболочки семян хлопка	3,9	0,9	46,1	37,2	2,6	0,07	0,62	0,87
Сорго африканское	6,4	2,8	24,1	51,4	5,2	-	1,02	-
Овсянница луговая	7,0	1,9	30,3	43,2	6,3	0,20	1,12	1,43
Костра льна	6,4	2,1	44,4	33,1	5,9	-	1,02	-
Солома льна	7,2	3,2	42,5	32,9	7,0	0,07	1,15	0,73
Сено - разнотравье	7,0	2,5	30,9	43,1	5,5	0,21	1,12	1,20
Хмель	23,0	3,6	24,5	23,0	5,3	-	3,68	-
Просо, сено	8,2	2,7	25,3	44,7	6,7	0,16	1,31	1,70
Просо, солома	3,8	1,6	37,5	41,6	5,5	0,12	0,61	1,44
Мякина овса	5,9	2,4	25,7	46,3	11,5	0,30	0,94	0,86
Сено овса	8,2	2,7	28,1	8,2	6,9	0,19	1,31	0,83
Шелуха овса	4,5	1,3	29,7	50,8	6,5	0,10	0,78	0,48
Солома овса	4,1	2,2	36,1	41,0	6,3	0,10	0,66	1,35
Пастбищн. трава зрелая	4,6	2,3	31,9	44,5	5,9	0,14	0,74	-
Солома гороха	6,1	1,6	33,1	44,0	5,4	0,10	0,98	1,08
Сено гороха	14,9	3,3	24,3	39,1	7,7	0,25	2,38	1,25
Земляной орех, сено	10,6	5,1	23,8	42,2	9,7	-	1,70	-
Кожура арахиса	6,7	1,2	60,3	19,7	4,4	0,07	1,07	0,82
Луговое сено	5,7	2,3	30,4	44,9	7,4	0,18	0,91	-
Рисовая солома	3,9	1,4	33,5	39,2	14,5	0,07	0,62	1,22
Рисовая шелуха	3,0	0,8	40,7	28,4	19,1	0,08	0,48	0,31
Райграс	8,1	1,9	27,8	8,1	7,5	0,24	1,30	1,00
Рожь, сено	6,7	2,1	36,5	6,7	5,0	0,18	1,07	1,05
Рожь, солома	3,5	1,2	38,7	45,9	3,5	0,09	0,56	0,90
Осока	6,1	1,7	29,2	6,1	7,4	-	0,98	-
Сорго, фураж.	6,2	2,4	25,0	48,1	7,1	0,12	0,99	1,29
Соя, сено	14,4	3,3	27,5	14,4	7,0	0,24	2,30	0,82
Соя, солома	4,0	1,1	41,1	37,5	5,1	0,13	0,64	0,62
Суданская трава, сено	8,8	1,6	27,9	42,9	8,1	0,26	1,41	1,30
Суданск. трава, солома	7,1	1,5	33,0	42,3	6,5	-	1,14	-
Сахар.тростник, фураж.	1,3	1,8	19,7	64,3	1,9	0,14	0,21	0,58
Сахар.тростник, багасса	1,1	0,4	49,6	42,0	2,4	-	0,18	-
Тимофеевка	6,5	2,4	30,2	45,0	4,9	0,20	1,04	1,50
Вика	13,3	1,1	25,2	1,1	6,2	0,32	2,13	2,22
Мякина пшеницы	4,4	1,5	29,4	47,1	7,6	0,14	0,70	0,50
Сено пшеницы	6,1	1,8	26,1	50,0	6,4	0,18	0,98	1,47
Солома пшеницы	3,9	1,5	36,9	41,9	8,3	0,07	0,62	0,79